

ACADEMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DE MONTPELLIER (MONTPELLIER II)
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

T H E S E

présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc
pour obtenir le diplôme de DOCTORAT
Spécialité :

PHYSIOLOGIE, BIOLOGIE DES ORGANISMES ET DES POPULATIONS :
AGRONOMIE

DIAGNOSTIC AGROPÉDOCLIMATIQUE 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.

par

Léopold SOME

soutenue le 20 Décembre 1989 devant le jury composé de :

Mme PARIS-PIREYRE Présidente

MM BALDY

CHERY

JONARD

ROOSE

REYNIERS

1989

REMERCIEMENTS

J'exprime toute ma reconnaissance aux professeurs N. PARIS-PIREYRE, R. JONARD et J.J. MACHEIX de l'USTL qui ont autorisé mon inscription à cette formation doctorale et/ou accepté de participer à mon jury de thèse.

Cette reconnaissance va aussi à Monsieur J. CHERY, professeur à l'ENSAM et à Monsieur E. ROOSE, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, qui ont bien voulu être rapporteurs de cette thèse.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur Ch. BALDY, Directeur de Recherches à l'INRA-ENSAM et à son épouse, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi. Monsieur BALDY n'a pas hésité, à un moment où l'INERA n'en trouvait pas les moyens, à payer lui-même un voyage au BURKINA FASO pour assurer son rôle de Directeur de ma thèse. Des voix plus autorisées que la mienne lui traduiront la reconnaissance de l'INERA pour sa contribution dans la formation des chercheurs burkinabé

Je remercie sincèrement tous les responsables du CIRAD, notamment ceux du Service Formation et de l'IRAT/DRN, et plus particulièrement Monsieur F. FOREST, chef du Programme Climat-Sol-Plantes-Productions et Monsieur F.N. REYNIERS, correspondant du réseau R3S. Ces derniers n'ont ménagé aucun effort pour mettre à ma disposition ce dont j'avais besoin lors de mes séjours dans ce laboratoire. Leur appui scientifique ainsi que celui des autres chercheurs de l'IRAT m'a été très utile.

Au Burkina Faso, je remercie sincèrement Monsieur R. NICOU, Délégué du CIRAD, qui, depuis mon arrivée à la recherche, a tout mis en oeuvre pour que je puisse suivre une formation doctorale. Sur le terrain, nous constituons avec Monsieur B. OUATTARA l'équipe "économie de l'eau" et à ce titre, j'exprime toute ma gratitude à tous les deux.

J'associe également à cela tous les techniciens et manoeuvres de l'équipe, ainsi que tous les autres collaborateurs et les différents stagiaires qui, par leurs efforts inlassables, nous ont permis d'acquérir une masse importante de données de recherche dont seulement une partie a été présentée dans ce mémoire.

Je remercie tous mes supérieurs hiérarchiques qui ont accepté que je suive cette formation, et plus particulièrement Monsieur M.P. SEDOGO, Chef du Programme ESFIMA et actuel Directeur Général du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), et Monsieur P.C. BELEM, Directeur de l'INERA.

J'associe à ces remerciements toute ma famille et plus particulièrement mon épouse Salimata et nos deux enfants Arlette et Eric qui ont accepté de subir mes absences répétées et plus ou moins prolongées.

Je remercie enfin (et non le dernier) Mademoiselle I. LINOSSIER et Mademoiselle P. GILLET qui ont assuré la frappe et la présentation de ce document.

A tous et à chacun "BARKA".

ABSTRACT

In the first part, the simulation study was carried out on chronological series of climatic data. It helped to point out recent degradation of agricultural potential and soil and climate conditions resulting from persistent drought in BURKINA FASO.

The possible occurrence of drought periods is frequent in this country as in the whole Sudan-sahelian zone of Africa.

But drought alone does not completely explain the low crop yields reported in farmer's fields : the differences in productivity observed between results from long term on-station based trials and on-farm cereal yields demonstrate this. This is due, among other factors, to the non-adoption by farmers of the new technologies recommended by research institutes.

In the second part, after simulations for the present adaptation conditions of several lengths for sorghum, millet and maize throughout the country, crop yield indices at an occurrence frequency of 8 out of 10 years have been illustrated by maps.

Agricultural results have been interpreted from pluriannual and multilocal trials on wetland tillage using ox-draught, more localized trials on dry tillage with the introduction of engine power, and trials including supplemental irrigation to reduce risks during dry periods in the wet season.

Ploughing, ridging, tied ridges and soil scarifying have been compared separately or in association. These techniques are used to control run-off and erosion resulting from some types of very intensive rains falling on soils having general low permeability.

The technology efficiency depends mainly on :

- rainfall and its distribution
- the location of the fields on the toposequence
- the crop concerned and the length of its cycle
- the cultivation technique used.

In the third part, the role of these techniques in the improvement of crop water balance is emphasized ; it results in a better crop ET_a/ET_m ratio.

For the three cereals studied here, ET_a/ET_m value must be the highest possible from heading-flowering onwards to warrant better water efficiency and good grain yields.

KEY WORDS :

BURKINA FASO, agricultural potential, soil and water potential, sorghum, maize, millet, water balance, plowing, ridging, tied ridges, scarifying, supplemental irrigation, animal draught cultivation, rain water efficiency.

RESUME

Dans la première partie, l'étude par simulation a porté sur des séries chronologiques de données climatiques. Elle a permis de cerner les dégradations récentes des potentialités agropédoclimatiques qui traduisent la sécheresse persistante au BURKINA FASO.

Le risque d'apparition des phases de sécheresse y est fréquent, comme du reste, dans toute la zone soudano-sahélienne de l'Afrique.

Mais à elle seule, la sécheresse n'explique pas complètement les faibles rendements des cultures actuellement observés chez les paysans : les écarts de productivité, constatés entre les résultats des essais de longue durée sur les stations de recherche et les rendements des céréales en milieu réel en attestent. Il faut y voir entre autres facteurs, la non adoption des innovations techniques recommandées à la vulgarisation par les organismes de recherche.

Dans la deuxième partie, après avoir effectué des simulations des conditions actuelles d'adaptation de plusieurs durées de cycle de culture pour des sorghos, des mils et des maïs sur l'ensemble du pays, on a présenté une cartographie des indices de leurs rendements à la fréquence d'occurrence de 8 ans sur 10.

L'interprétation des résultats agronomiques, a porté successivement sur des essais pluriannuels et multilocaux concernant des techniques de travail du sol "en humide" avec introduction de la traction bovine ; des essais plus localisés de travail du sol en sec, conduits avec motorisation ainsi que des essais comportant des irrigations de complément destinées à réduire les risques pendant des phases sans pluie en période humide.

Labour, billonnage, cloisonnement et scarifiage du sol ont été comparés isolément ou en association. Ces techniques ont pour but de contrôler le ruissellement et l'érosion provoqués par certains types de pluie de forte intensité tombant sur des sols généralement à faible perméabilité.

L'efficacité de ces techniques varie essentiellement en fonction de :

- la pluviosité de l'année et sa répartition temporelle,
- la situation du champ sur la toposéquence,
- la culture concernée et la durée de son cycle,
- la technique culturale employée elle-même.

Dans la troisième partie, on a mis en évidence le rôle de ces techniques sur l'amélioration du bilan hydrique des cultures ; il se traduit par une amélioration du rapport ETR/ETM de celles-ci.

Pour les trois céréales étudiées, la valeur ETR/ETM doit être la plus élevée possible à partir de la phase épiaison-floraison pour garantir une meilleure efficacité de l'eau et un bon rendement en grain.

MOTS CLES : Burkina Faso, sécheresse, potentialités agropédoclimatiques, sorgho, maïs, mil, bilan hydrique, labour, billon, cloisonnement, scarifiage, irrigation de complément, culture attelée, efficacité de l'eau de pluie.

LISTE DES ABREVIATIONS

AGRHYMET : Centre Régional de Formation et d'Application en Agroclimatologie et Hydrologie Opérationnelles.

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques.

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

CILSS : Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel.

CRPA : Centre Régional de Promotion Agropastorale.

DR : Drainage bus la zone d'enracinement des cultures.

ETM : Evapotranspiration Maximale.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

EVA : Evaporation du bac normalisé type classe A.

FAO : Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

FIT : Front Inter Tropical.

FL1 : début épiaison à environ 50% de floraison des céréales.

FL2 : pleine floraison-début de la maturation des céréales.

IDV : phase allant du semis à la fin de la montaison des céréales.

ICRISAT : International Crop Research Institute in Semi Arid Tropics.

INERA : Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles.

IITA : International Institute for Tropical Agriculture.

IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières.

IRESP : Indice de Rendement Espéré.

IRCT : Institut de Recherche du Coton et des Textiles Exotiques.

IRHO : Institut de Recherche pour les Huiles et les Oléagineux.

Matu : phase de maturation des grains des céréales.

M.A.E. : Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage.

ORD : Organisme Régional de Développement.

ONG : Organisme Non Gouvernemental.

ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

RUR : Réserve Utile Racinaire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Page 1

Première partie:

LE CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

13

Chapitre I:

Le cadre physique: un milieu à haut risque de déficit hydrique pour les cultures pluviales13

1) Généralités sur le relief, le réseau hydrographique et la végétation.....13

2) Les facteurs climatiques.....15

3) Les sols.....41

4) Etude des modifications récentes des potentialités agro-pédoclimatiques au BURKINA FASO.....43

5) Conclusions sur le milieu physique.....53

Chapitre II:

Evolutions des rendements et des productions en sorgho, mil et maïs (période 1960-1987) et présentation succincte des innovations techniques déjà proposées par la recherche agronomique pour leur amélioration.....54

1) Présentation des données statistiques des productions des principales céréales et de leur évolution.....54

2) Bref aperçu sur les innovations techniques déjà proposées à la vulgarisation par la recherche agronomique.....65

3) Conclusions partielles.....73

Deuxième partie:

ETUDE DU RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE ET EXPERIMENTATIONS SUR LES TECHNIQUES PERMETTANT L'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION EN EAU DES SORGHOS, MILS ET MAIS.....75

Chapitre III:

Caractérisation fréquentielle du risque de déficit hydrique pour chaque culture: zonage agroclimatique par céréale.....75

1) Méthode.....75

2) Résultats du zonage par culture.....85

Chapitre IV:

Le contexte de l'étude expérimentale.....	126
1) Présentation générale des recherches conduites.....	126
2) Contexte agropédoclimatique des sites des essais.....	129
3) Micro-variabilité spatiale de la pluie sur la station de SARIA.....	143
4) Matériels et méthodes d'expérimentation communs à tous les essais.....	152

Chapitre V:

Les techniques d'amélioration du bilan hydrique basées exclusivement sur le travail du sol en humide et à la traction bovine.....	157
1) Matériels et méthodes.....	157
2) Résultats et discussions.....	164

Chapitre VI:

Deux autres techniques d'amélioration du bilan hydrique des cultures:	
- 1'irrigation de complément	
- le travail du sol en sec.....	223
1) Matériels et méthodes.....	223
2) Résultats et discussions.....	230
3) Conclusions sur les techniques d'irrigation de complément et de travail du sol en sec.....	238

Troisième partie:

FACTEURS HYDRIQUES ET RENDEMENTS DES CEREALES.....	240
---	-----

Chapitre VII: Explication des résultats agronomiques comparés à l'alimentation hydrique sur des cultures: efficience de l'eau reçue sur la parcelle.....

1) Méthodologie.....	240
2) Résultats et discussions.....	243
CONCLUSIONS GENERALES.....	261
BIBLIOGRAPHIE.....	269
ANNEXES.....	282

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso est situé en zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Entièrement enclavé, il a une superficie de 274 000 Km² et une population d'environ 8 millions d'habitants (INSD, 1986).

L'agriculture constitue la principale activité économique. Ce secteur occupe 88 % de la population active totale, et représente plus du tiers du Produit Intérieur Brut (P.I.B.). Il contribue pour près de 20 % dans les exportations totales du pays (UNSO, 1983; BELEM, 1985).

Cette agriculture est dominée par les cultures pluviales, dont les plus importantes en production restent le sorgho, le mil et le maïs qui constituent également la base de l'alimentation humaine.

Chaque année, près de 10% de la superficie totale du pays, soit 2,8 millions d'hectares, sont mis en culture (F.A.O, 1986). Les trois céréales de base occupent environ 80% de cette superficie et représentent 80% de la production nationale.

La répartition géographique de ces spéculations se présente globalement de la façon suivante:

- les régions septentrionales, à pluviosité plus faible et avec des sols plus sableux, sont presque exclusivement cultivées en mil (Pennisetum americanum)

- sur le plateau central et à l'Est du pays, on cultive le sorgho (Sorghum bicolor), le mil et un peu de maïs dans les "champs de case".

- le maïs (Zea maïs), est surtout cultivé dans le Sud-Ouest, plus arrosé, conjointement au sorgho et à un peu de mil.

Le sorgho est donc la principale culture de subsistance. Il occupe environ 1,05 millions d'hectares (F.A.O op. cité) et représente annuellement plus de 50 % du total de la production céréalière.

A l'heure actuelle, la production vivrière annuelle est malheureusement à peine suffisante, en moyenne, pour couvrir les besoins alimentaires du pays, car les rendements sont généralement faibles.

Les cultures industrielles dites "de rente" sont principalement le coton et l'arachide. En raison notamment des fluctuations de leurs rendements en fonction des années, celles-ci n'ont jamais atteint un niveau de production considérable. Ce n'est que lors des cinq précédentes années qu'elles ont connu une nette augmentation de leur production, passant respectivement de 85 000 à 176 000 tonnes pour le coton, et de 71 000 à 145 000 tonnes pour l'arachide entre les campagnes agricoles de 1984/1985 et 1987/1988 (M.A.E., 1988).

Le secteur industriel étant encore naissant, on se rend vite compte que les devises nécessaires au pays pour réduire le déficit de sa balance commerciale ne peuvent provenir que de cette agriculture aléatoire, de l'élevage et de l'artisanat.

Le Burkina Faso importe à un coût très élevé non seulement la quasi totalité des produits industriels et des produits pétroliers indispensables, mais aussi des quantités importantes de produits vivriers pour combler le déficit alimentaire. De ce fait, et compte tenu d'une part du taux de croissance élevé de la population (2,6% par an environ), et d'autre part du sort que connaissent actuellement les cours des matières premières sur le marché international, on peut affirmer que ce pays, à l'instar de beaucoup d'autres dans le Tiers Monde , est véritablement en voie de sous-développement.

D'où l'impérieuse nécessité de consacrer d'urgence tous les efforts possibles pour améliorer la productivité agricole afin d'assurer au moins une certaine sécurité au niveau des produits alimentaires de base. C'est ce qui justifie les nombreuses interventions actuellement observées au niveau du monde rural, à travers des projets de développement gérés soit par des institutions étatiques, soit par des organismes non gouvernementaux (ONG). Cela représente chaque année plusieurs millions de francs CFA injectés dans le monde rural pour obtenir, en fait, des résultats sans cesse compromis par les nombreuses contraintes de la production agricole, avec en premier lieu des ressources naturelles faibles et un risque climatique élevé.

En effet, en zone intertropicale, l'agriculture traditionnelle est basée presque exclusivement sur l'exploitation des ressources naturelles. Généralement, on ne veille pas à apporter la fertilisation nécessaire pour maintenir l'équilibre du milieu.

Dans les régions du pays où la pression d'occupation des terres n'est pas encore très forte, les agriculteurs pratiquent toujours un système de culture comportant une jachère de 3 à 4 années. Ce moyen naturel de restauration de la fertilité et de régénération des propriétés physico-chimiques d'un sol en voie de dégradation (HENIN et al, 1969; CHARREAU et NICOU, 1971) tend à disparaître actuellement du fait de la pression démographique. Sur le plateau central à forte densité de population (dépassant 120 habitants/km² dans certains arrondissements ruraux), cette pratique est, par la force des choses, devenue impossible. Le système agraire extensif fait qu'on a progressivement occupé tout l'espace cultivable.

De nos jours, l'accroissement indispensable des productions agricoles ne peut se faire que par une augmentation de la productivité par unité de surface. Cela suppose, au niveau du paysan, d'une part une certaine maîtrise des principaux facteurs de production, et d'autre part, une gestion raisonnée du sol et des autres ressources encore disponibles.

La gestion de l'eau au niveau de la parcelle de culture trouve alors tout son intérêt dans ces régions où l'eau constitue une ressource limitée et très aléatoire. Il faut donc chercher à optimiser l'efficacité dans la production de chaque millimètre de pluie reçu sur le champ.

L'un des moyens d'y parvenir, compte tenu du niveau technique et économique du paysan sahélien, est d'appliquer des techniques culturales favorisant l'infiltration de la pluie.

La sécheresse de 1973-1974, qui avait été amplement médiatisée, a sans contexte suscité l'éveil d'une conscience collective internationale, en vue d'endiguer le fléau dans les régions concernées. On s'est rendu compte, à commencer par les Sahéliens eux-mêmes, de l'impérieuse nécessité d'améliorer le bilan hydrique des cultures sèches. C'est pourquoi, depuis lors, la lutte contre les effets de la sécheresse est devenue un leitmotiv au niveau des institutions de financement, de recherche, de développement et aussi des instances politiques.

Au Burkina Faso, cela a conduit au niveau des recherches agricoles, d'une part, à la mise au point d'un certain nombre de variétés de cultures à cycle court ou intermédiaire, mais gardant un potentiel de rendement élevé, et d'autre part, à la mise en place d'expérimentations axées sur l'eau, le sol et la plante. C'est dans ce dernier aspect que se situe notre travail, basé sur l'étude de quelques itinéraires techniques permettant d'améliorer le bilan hydrique à la parcelle des principales cultures céréalières du pays.

Certes, les techniques d'économie de l'eau ne constituent pas en elles-mêmes une révolution dans les pratiques culturales des paysans. Elles relèvent même des pratiques ancestrales diversement répandues çà et là et basées principalement sur deux approches:

- la réalisation d'ouvrages (diguettes, cordons pierreux, système en demi-lune, etc...) qui tendent à modifier la circulation des eaux à la surface du sol.

- la modification du modelé de la surface du sol par des interventions culturales appropriées qui permettent une meilleur infiltration de l'eau de pluie.

Notre réflexion a été essentiellement focalisée sur cette seconde approche du problème, avec pour ambition, non d'inventer quelque chose de nouveau, mais plutôt de chercher à régionaliser et adapter les techniques utilisées dans les différentes situations pédoclimatiques qui prévalent dans le pays.

Cela s'est concrétisé sur le terrain par la mise en place, à partir de 1982, d'essais pluriannuels et multilocaux tant en stations de recherches agricoles qu'en milieu semi-contrôlé, en collaboration avec des organismes ou des projets de développement.

Dans cette première série d'expérimentations, une dizaine de techniques de travail du sol "en humide" à la traction attelée bovine, ont été testées dans chaque situation pédoclimatique, avec la culture céréalière dominante dans la région, et si possible, la ou les variétés améliorées déjà proposées à la vulgarisation par la recherche.

En dépit des moyens matériels et humains très limités, des dispositions ont été prises dès le départ pour non seulement présenter les résultats globaux des rendements obtenus, mais aussi expliquer la part de l'alimentation hydrique dans ces rendements.

A partir de 1986, la réflexion s'est poursuivie et des études portant sur d'autres itinéraires techniques ont été entreprises. Il s'agit notamment:

- de l'irrigation de complément,
- du travail du sol en sec avec du matériel sans doute plus lourd et plus onéreux comme la sous-soleuse et le chisel,
- des cultures en couloir (Alley Cropping).

Pour des raisons de ressources budgétaires limitées, ces études ont été principalement menées à la station de recherches agricoles de Saria située sur le Plateau Central.

Les essais sur l'irrigation de complément et le travail du sol en sec ont pu être suivis en implantant des dispositifs de mesures neutroniques et tensiométriques. Ces derniers apportent une autre dimension dans l'interprétation des résultats vis-à-vis du bilan hydrique de la culture.

Sur le plan scientifique et théorique, les résultats de nombreux chercheurs ont permis d'expliquer les relations qui existent dans le continuum sol-eau-plante-atmosphère. En effet, depuis les travaux de PENMAN (1948), VAN HONERT (1948) cité par GARDNER (1961), TURC (1961), HALLAIRE et BALDY (1963), HALLAIRE (1964) à des études plus récentes (PERRIER, 1975; KATERJI et al; 1983, DANCETTE, 1983; HATFIELD et al, 1984; etc...), on sait que les relations dans ledit système font intervenir de nombreux mécanismes biologiques, physiologiques, physiques et chimiques. Ces mécanismes sont indépendants, et pour obtenir un accroissement substantiel de production du végétal, il faut nécessairement faire porter l'amélioration sur chacun d'eux. Ce qui suppose la conjugaison de compétences multidisciplinaires. L'équipe avec laquelle nous travaillons au Burkina Faso n'est pas encore en mesure de réunir de telles compétences. Ce qui a souvent limité notre compréhension et interprétation des résultats obtenus. Néanmoins, sur le plan pratique, notre contribution a permis de proposer à la vulgarisation des alternatives permettant de lever des contraintes réelles de la production végétale dans ces régions à haut risque climatique.

Dans le présent mémoire, il ne s'agira pas seulement de discuter des résultats d'essais agronomiques qui, du reste, ont déjà été diffusés (IRAT/HV, 1983; Nicou et al, 1984, 1985, 1987). Notre problématique part du fait que l'amélioration du bilan hydrique des cultures sèches passe par une amélioration de la pluie utile. Celle-ci est la pluie réellement mise à la disposition des cultures. Schématiquement, à l'échelle de la parcelle de culture, c'est la quantité totale de pluie reçue moins la partie ruissellée en dehors du champ, moins la partie infiltrée au delà du front d'enracinement de la culture, plus le ruissellement venant de l'amont.

Nous avons donc étudié des techniques agronomiques permettant d'accroître l'infiltration et le stockage de l'eau et aussi d'améliorer l'efficacité de cette eau dans la production du végétal. L'efficacité est définie (Witt, 1981) par le kilogramme de grains ou de matière sèche produit par superficie et par millimètre d'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture.

L'ETR traduit la quantité d'eau qui a passé effectivement par la plante vers l'atmosphère, au cours d'une période donnée, au niveau de l'interface entre le couvert végétal et l'air ambiant. Il s'agit en fait de deux phénomènes physiques:

- l'évapotranspiration de l'eau au niveau du sol qui est une perte nette pour les cultures.
- la transpiration au niveau des plantes qui est le facteur qu'il faut chercher à optimiser.

Chacun de ces facteurs est lié d'une part à "l'offre en eau" représentée par la pluie et la réserve utile du sol, et d'autre part à la "demande en eau" représentée par l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'ETP traduit la différence de pression de vapeur entre l'air et le couvert végétal. Cela est fonction de l'énergie disponible, qui elle-même dépend des variables climatiques dont le rayonnement, la température et le vent.

Notre étude a donc pour objectif de montrer qu'une augmentation de la productivité des sorghos, mils et maïs est actuellement encore possible en dépit de la pluviosité devenue erratique, grâce à l'application de techniques permettant d'améliorer l'ETR de la culture durant tout son cycle et plus particulièrement aux phases dites "critiques".

L'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture peut être estimée par:

- des mesures (températures, rayonnement...) au-dessus de la végétation (JACKSON et al, 1977; SEGUIN et ITIER, 1982; N'GUESSAN, 1985; ASSAD, 1986).
- des mesures sur les plantes elles-mêmes: résistance stomatique, transpiration des feuilles, flux de sève dans la tige, potentiel de base des feuilles à l'aurore.
- des mesures portant sur le sol: évapotranspiromètres pesables ou non, profils d'humidité.
- des simulations utilisant plusieurs modèles de bilan hydrique.

Dans cette étude, l'ETR sera estimée selon les deux méthodes suivantes:

- la simulation du bilan hydrique d'après le modèle empirique proposé par FRANQUIN et FOREST (1977).
- L'interprétation des profils hydriques et tensiométriques (VACHAUD et al, 1978; DAUDET et VACHAUD, 1977).

Cette seconde méthode nous permettra de valider le modèle de simulation utilisé. Pour ce faire, les essais de Saria où l'on étudie en même temps les effets des mêmes techniques culturales sur le ruissellement, un des facteurs important du bilan hydrique, et l'érosion à la parcelle de culture, seront pris pour base dans cette opération. La simulation sera alors étendue aux autres sites d'expérimentation.

L'alimentation hydrique ayant une part très importante dans l'élaboration du rendement (RITCHIE, 1983; EHLERS, 1986), on peut alors par approximation montrer que le rendement (espéré ou mesuré) est une fonction de l'ETR ou d'un indice traduisant l'alimentation hydrique de la culture à chaque phase de son développement (POSS et al, 1988; CORTIER et al, 1988).

Les valeurs d'ETR calculées dans plusieurs situations pédoclimatiques différentes, devront permettre de proposer des paramètres de cette fonction pour le sorgho, le mil et le maïs au Burkina Faso.

Ce mémoire est organisé comme suit:

- une première partie situe le milieu agro-pédoclimatique. Cette description est fondée sur une description et une analyse probabiliste des facteurs climatiques dont la pluviosité, les autres paramètres (température, insolation etc...) variant presque toujours entre des limites permettant un bon développement des cultures (BALDY, 1985; DIARRA et al, 1987; SIVAKUMAR et GNOUMOU, 1987; MIETTON, 1988).

Cette analyse nous amène à proposer un premier zonage agroclimatique des potentialités des cultures pluviales à travers le pays. Ce zonage est basé essentiellement sur un modèle de bilan hydrique qui prend en compte, outre la pluviométrie, les différentes réserves utiles des sols et la demande évaporative du milieu.

Cela suppose une description préalable de la typologie générale des sols du pays mettant l'accent sur les contraintes physico-chimiques limitant la production végétale. Parmi ces contraintes, il faut noter le ruissellement et l'érosion, qui influent directement sur le bilan hydrique des cultures.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons succinctement les statistiques agricoles du pays pour les trois céréales étudiées et les innovations techniques actuellement recommandées par la recherche à la vulgarisation.

On analysera les écarts de productivité entre le milieu paysan et les stations de recherches agricoles en partant de l'exploitation des résultats des essais de longue durée conduits respectivement à Saria sur le sorgho depuis 1960 à nos jours et plus récemment (1981) à la station de Farako-Ba dans le sud-ouest du pays, avec le maïs.

Cette partie fera ressortir en conclusion la nécessité impérieuse de tester des itinéraires techniques permettant d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures pluviales et surtout d'optimiser l'efficacité de l'eau dans la production du végétal.

La deuxième partie du mémoire est consacrée aux études et expérimentations qui ont été effectuées de 1982 à 1988, en vue de proposer des techniques d'économie de l'eau permettant une amélioration du bilan hydrique des sorghos, mils et maïs au cours de leur cycle de culture. Les essais ont surtout été menés avec des sorghos blancs, afin de tenir compte de l'importance de cette culture dans le pays. Le chapitre III présente le zonage du risque de sécheresse pour chacune de ces trois spéculations sur l'ensemble du pays.

En effet, dans la mesure où les conditions écologiques (climat, sol, eau) nécessaires à une croissance et à un rendement optimal varient avec la culture et la variété (F.A.O., 1980), nous avons voulu, avant de présenter et discuter les résultats des essais agronomiques, situer pour chaque culture les potentialités de production au cours de la période dite sèche (1970-1987).

Cette étude est basée sur la simulation du bilan hydrique avec des hypothèses de calcul prenant en compte :

- la place du champ dans la toposéquence (Réserve Utile variable)
- le niveau d'intensification de la culture
- les dates de semis déterminées dans le zonage de base dans la première partie.

Le chapitre IV décrit les caractéristiques pédoclimatiques des sites d'expérimentation et présente les matériels et méthodes communs à tous les essais agronomiques. Le site de Saria est présenté avec un peu plus de détails, car c'est là que la plupart des résultats ont été obtenus. Sur ce site, on a étudié également la micro-variabilité spatiale de la pluie en vue de faire ressortir la représentativité de la pluie mesurée à la station météorologique pour les autres parcelles de culture de toute la station, soit environ 400 hectares.

Le chapitre V est consacré à l'étude des techniques d'économie de l'eau basées sur le travail du sol en humide, et à la traction bovine. Après avoir décrit les dispositifs et les méthodes d'étude, on discutera les résultats obtenus sur les techniques d'économie de l'eau respectivement sur:

- la dynamique de l'eau dans le sol,
- le contrôle du phénomène de ruissellement et de l'érosion sur un sol ferrugineux tropical lessivé de Saria,
- la croissance et le développement des cultures,
- le contrôle de l'enherbement des parcelles de culture,
- les rendements des cultures et leurs composantes.

Dans le chapitre V seront présentés les résultats des autres techniques concernant respectivement l'irrigation de complément et le travail profond du sol en sec.

L'essai sur les cultures en couloir n'ayant pas encore donné des résultats interprétables n'entre pas dans le cadre du présent mémoire.

Après avoir décrit les différents dispositifs d'essai, on présentera successivement et en partant de l'équation générale du bilan hydrique à la parcelle de culture, la méthode "in situ" du bilan hydrique et celle basée sur la simulation.

La présentation des résultats agronomiques tendra à mettre en évidence le surplus de rendement du sorgho qu'apportent ces techniques par rapport aux précédentes basées sur le travail du sol en humide avec la traction bovine, notamment le labour à plat suivi ou non de buttage et cloisonnement.

Le chapitre VII, qui constitue la troisième partie du mémoire, sera réservé à l'interprétation et à l'explication des essais agronomiques par rapport à l'alimentation hydrique de la culture et à l'efficience de l'eau reçue sur la parcelle.

Pour faire ressortir l'effet des facteurs hydriques sur les rendements, on appliquera sur chaque essai le modèle de simulation de bilan hydrique, en vue de déterminer l'ETR de la culture. Plusieurs hypothèses de simulation tenant compte des facteurs d'amélioration de ETR apportés par les différentes techniques, seront appliqués. Ensuite, par regroupement d'essais, on fera une étude des corrélations pour déterminer les paramètres de la relation entre l'ETR et le rendement dans chaque cas de figure.

Cela nous amènera, dans les conclusions, à des réflexions sur les recherches complémentaires pour, d'une part, mieux cerner l'efficacité de l'eau, et d'autre part, proposer d'autres voies à suivre pour son amélioration.

PREMIERE PARTIE:

LE CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

CHAPITRE I

**LE CADRE PHYSIQUE: UN MILIEU A HAUT RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE
POUR LES CULTURES PLUVIALES.**

CHAPITRE II

**EVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES PRODUCTIONS EN SORGHO, MIL ET
MAIS (période 1960-1987) ET PRESENTATION SUCCINTE DES INNOVATIONS
TECHNIQUES DEJA PROPOSEES PAR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LEUR
AMELIORATION.**

CHAPITRE I.

LE CADRE PHYSIQUE: UN MILIEU A HAUT RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE POUR LES CULTURES PLUVIALES.

INTRODUCTION.

La présentation du milieu écologique faisant ressortir ses principales contraintes pour l'agriculture pluviale, vise à mieux cibler notre action de recherche. En effet, cela doit révéler les préoccupations prioritaires du paysan soudano-sahélien, auquel le spécialiste des relations eau-sol-plante doit chercher à apporter des solutions. Le milieu sera donc présenté selon les trois groupes de facteurs qui influent essentiellement sur la production de la culture, à savoir les facteurs climatiques, pédologiques et édaphiques.

1. GENERALITES SUR LE RELIEF, LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET LA VEGETATION.

1.1. Le relief.

Environ 75% du territoire burkinabé repose sur un vieux socle cristallin précambrien (PERON et al, 1975), qui lui confère un relief uniformément plat et monotone. L'altitude moyenne ne dépasse pas 400 mètres. Cette plaine est parsemée par quelques collines birrimiennes et des butes cuirassées qui influent assez peu sur le climat local.

Le reste du pays comprend des formations géologiques diverses: infracambriennes, primaires, tertiaires et récentes. Les formations récentes sont d'une part, les dunes dans le nord du pays, et d'autre part, les cuirasses "latéritiques".

Le relief est caractérisé par un massif gréseux, escarpements rocheux et "falaises" qui occupent le sud-ouest. Cette vaste pénélaine traduit en apparence un état de stabilité (MIETTON, 1988). Car, comme on le verra plus loin, le sol est très sensible au ruissellement et à l'érosion en dépit de la faiblesse de la pente générale (inférieure à 2%).

1.2. Le réseau hydrographique.

Le réseau hydrographique est peu dense. Il se limite essentiellement aux ramifications des trois fleuves de la région: la Volta, la Comoé et le Niger. Le pays étant peu arrosé, nombreux sont les cours d'eau qui tarissent pendant la saison sèche, limitant ainsi les possibilités des cultures irriguées sans aménagements importants.

1.3. La végétation.

La répartition de la végétation naturelle au Burkina est à l'image de celle des précipitations. Caractérisée cependant par la présence d'un important tapis graminéen continu ou discontinu, la végétation peut être divisée en plusieurs groupes sur la base des formations végétales et des espèces dominantes (PERON et al, 1975; TERRIBLE, 1978; GUINKO, 1984).

Ainsi, du nord au sud, on distingue schématiquement :

- une zone où prédominent les formations steppiques à Acacia senegal, Acacia radiana, Balanites aegyptiaca, etc...

- dans le centre-nord, autour de la latitude 13°, correspondant à la zone sub-sahélienne (GUINKO, op. cité; NICOU et al, 1987), apparaît une strate arbustive avec Combretum micranthum, Guiera senegalensis, etc.... Ici, les formations herbeuses sont nettement majoritaires.

- la zone centre est un paysage de savane arborée à Butyrospermum parkii, Guiera senegalensis, Acacia albida, Parkia biglobosa, etc.... En saison favorable, le tapis herbacé assure une couverture pratiquement continue du sol.

- la zone sud où les espèces ligneuses présentent encore une densité de peuplement plus grande. La strate herbacée est plus dense et continue. C'est un paysage de savanes boisées et de forêts claires où dominant Isoberlinia doka, Butyrospermum parkii, Tamarindus indica, Khaya senegalensis, etc....

Cette végétation, soumise à une intense dégradation par les feux de brousse, les surpâturages et le déboisement anarchique lié à la pression démographique, n'arrive plus, à l'heure actuelle, à jouer pleinement son rôle dans l'équilibre écologique du milieu.

2. LES FACTEURS CLIMATIQUES.

Le Burkina Faso est sous l'influence de deux hautes pressions ou anticyclones. La première, centrée sur le Sahara, génère une masse d'air chaud et sec. La seconde, située dans l'Atlantique sud, apporte sur le continent de l'air frais et humide.

Le climat de la sous région est déterminé par la position de la zone de convergence de ces anticyclones et du front où se rencontrent au sol ces deux masses d'air. C'est le Front Intertropical (FIT). Le FIT se déplace alternativement entre les environs du cinquième parallèle nord en janvier, et du 22ème parallèle nord en août. Ces déplacements sont liés au mouvement apparent du soleil, ce qui explique aussi les variations des températures et des tensions de vapeur d'eau de l'air au cours des saisons (BALDY, 1985).

L'anticyclone saharien provoque sur le Burkina un vent du nord-est qui souffle entre les mois de novembre et d'avril: c'est l'harmattan. A partir du mois de mai, l'harmattan cède la place à un vent maritime du sud-ouest qualifié de mousson, qui apporte les pluies. Le courant "Jet Tropical" crée souvent des "lignes de grains" qui se déplacent d'est en ouest durant cette période.

Tout cela traduit sur le pays un net contraste climatique saisonnier, qui impose et rythme les activités de production des populations rurales.

2.1. Les précipitations.

2.1.1. La pluviosité annuelle.

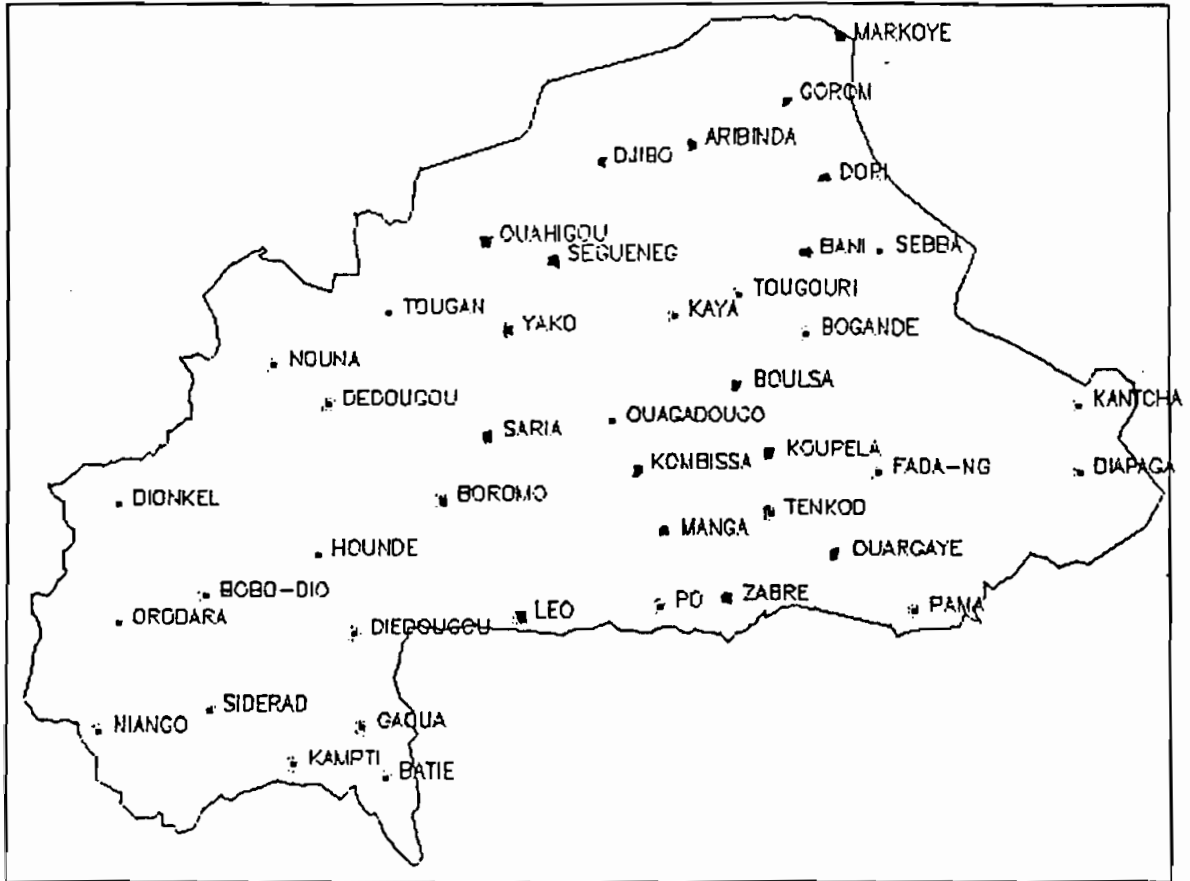
De par sa grande variabilité spatio-temporelle, la pluie est le principal facteur climatique qui influe sur la variation des rendements agricoles. On observe une diversité régionale fondée essentiellement sur deux caractéristiques des précipitations: le volume pluviométrique annuel et la durée de la saison des pluies ou hivernage.

Un important réseau météorologique, malheureusement assez mal réparti, permet de mesurer les paramètres climatiques, notamment la pluie.

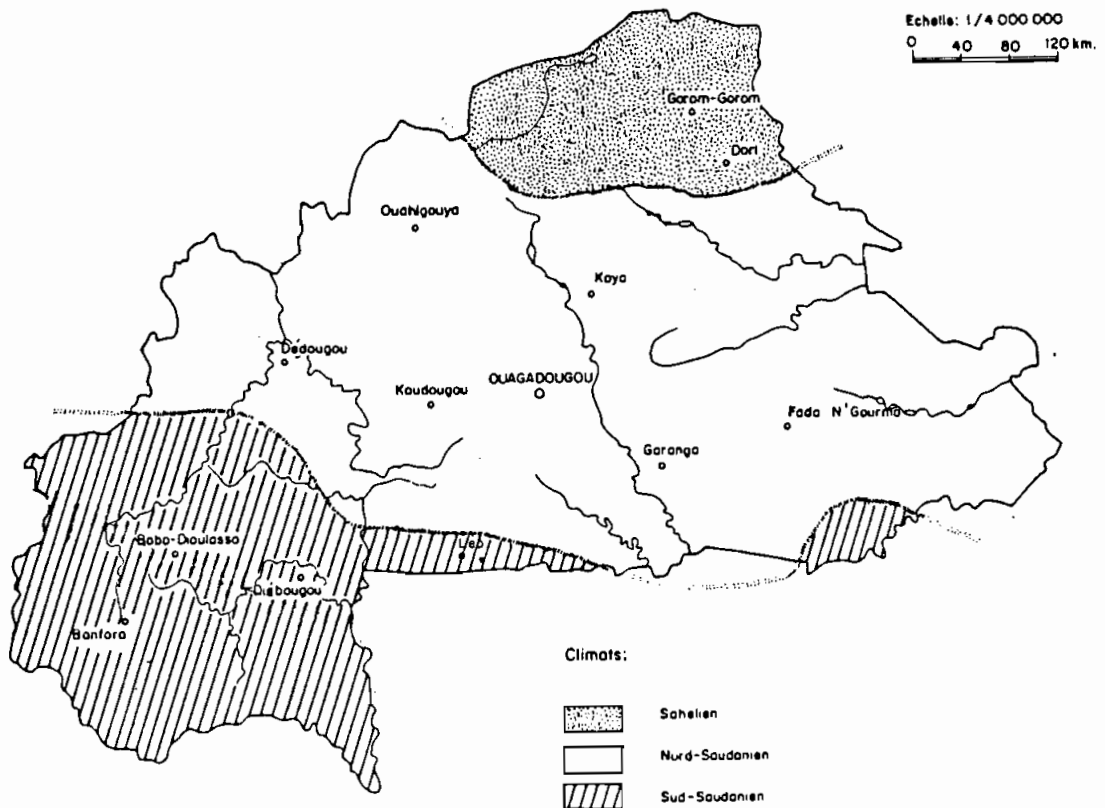
Nous avons retenu environ 40 stations, dont les neufs stations synoptiques, pour cette étude agroclimatique (carte n° 1). C'est sur la base des paramètres climatiques et phytogéographiques que les trois principales zones représentées sur la carte n°2 ont été définies (RENARD, 1966; PERON et al, 1975; PALLIER, 1978). Ce sont:

- la zone sahélienne, généralement définie comme s'étendant au nord de l'isohyète moyenne annuelle de 650 mm.
- la zone nord-soudanienne, comprise entre 650 et 1000 mm.
- la zone sud-soudanienne, située au sud de l'isohyète 1000 mm.

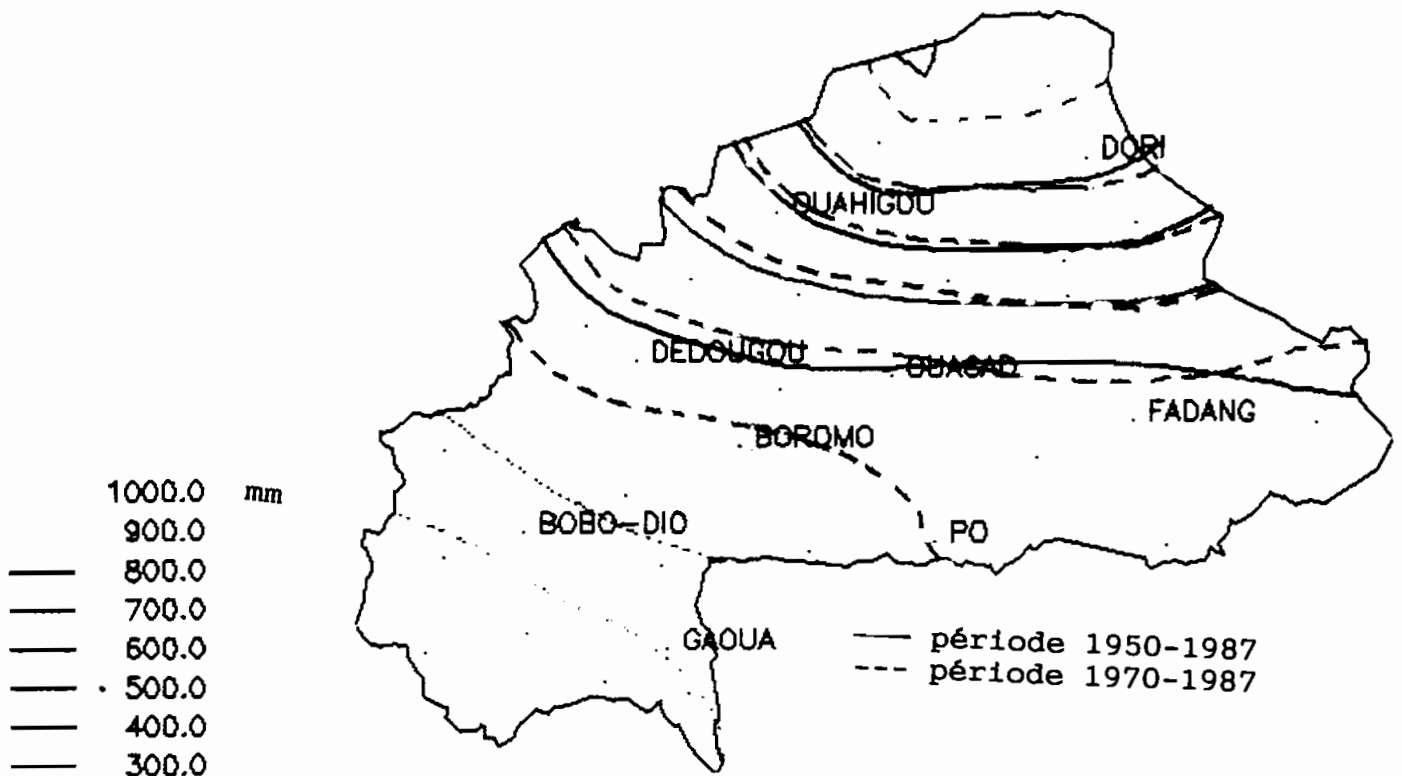
Les limites géographiques de ces zones ne sont pas statiques. Elles varient avec la dérive climatique qui s'est accentuée depuis ces dernières décennies. En effet, comme le montre la carte n°3, les moyennes des précipitations annuelles calculées respectivement pour les périodes 1950-1987 et 1970-1987, accusent des variations d'autant plus importantes que l'on va du nord au sud. L'isohyète 1200 mm a même disparu dans la seconde série.



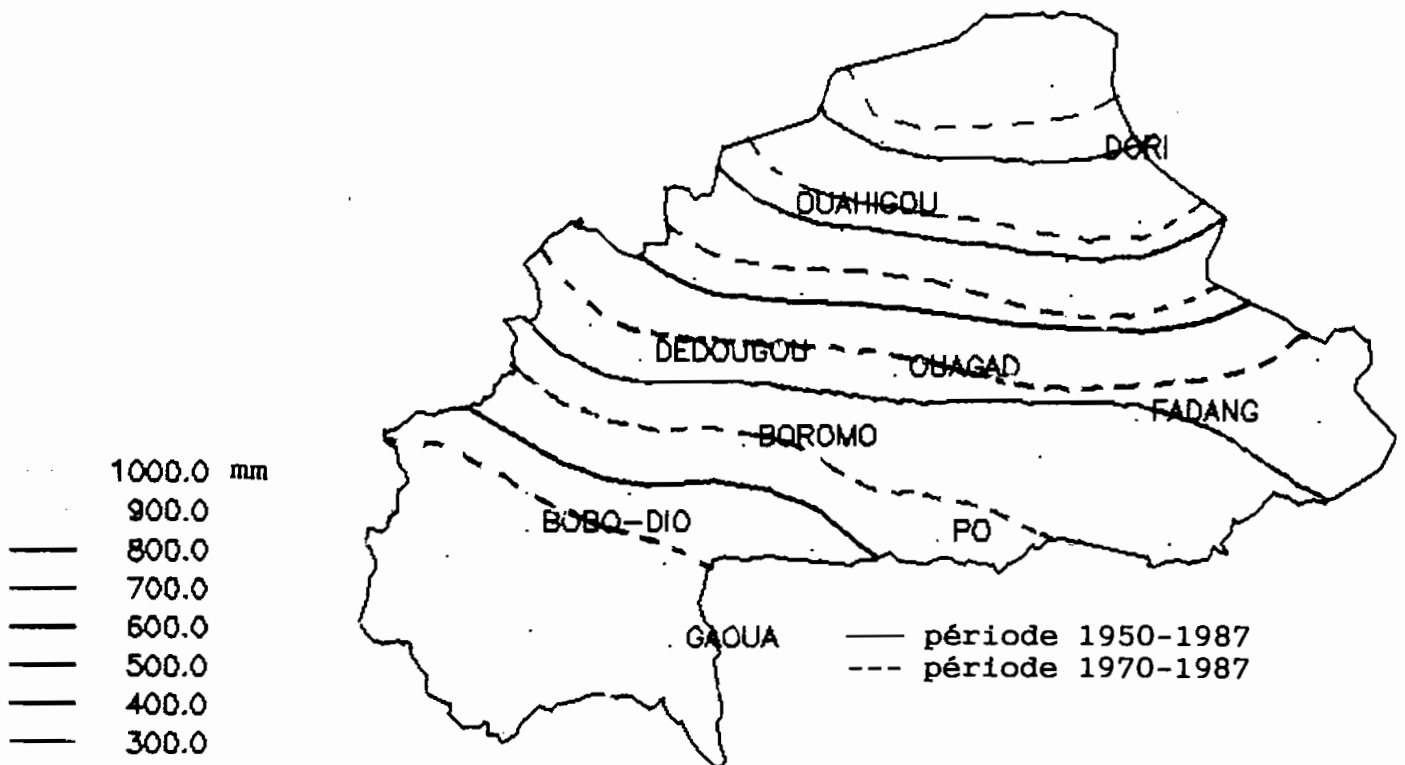
Carte n° 1: Stations prises en compte dans l'étude.



Carte n° 2: Régions climatiques du Burkina Faso.



Carte n° 3: Variation des isohyètes moyennes annuelles.



Carte n° 4: Pluviométrie annuelle atteinte ou dépassée
 8/10 ans.

Ces isohyètes, pratiquement parallèles, accusent dans la moitié ouest du pays des remontés vers le nord-ouest, dues, sans doute, à la présence des chaînes de collines et à l'influence de la forêt ripicole le long de la vallée de la Volta Noire (Mouhoun).

Sur le plan agronomique, la nature erratique des précipitations enlève toute signification réelle à ces moyennes. Il est alors plus utile de connaître la fréquence d'enregistrement d'une pluviosité annuelle donnée (carte n°4). Le tableau 11-1 donne, à titre d'exemple, les valeurs obtenues dans 5 stations.

Ces données sont calculées grâce à un logiciel informatique approprié mis au point par l'IRAT à Montpellier. Les seuils pluviométriques sont déterminés par ajustement à des lois statistiques: normale pour la pluviométrie annuelle et/ou log. normale pour la pluviométrie mensuelle (LIDON et DABIRE, 1980; MIETTON, 1988).

Probabilité pluies >X	Seuil en mm				
	Niangoloko	Saria	Diapaga	Ouahigouya	Gorom
0,8	939,6	686,5	634,7	420,0	263,9
0,5	1042,5	721,5	775,0	521,7	337,7
0,2	1202,4	786,6	861,2	758,2	405,9
moyenne de la période	1070,8	740,9	768,8	561,2	330,5

Tableau 11-1: Variabilité fréquentielle de la pluviométrie annuelle au cours de la période 1970-1987 pour 5 stations du Burkina Faso (loi normale).

Les valeurs dans ce tableau font apparaître des différences très importantes entre les moyennes annuelles généralement utilisées comme base de calcul dans tous les projets de développement, et les totaux pluviométriques que l'on peut espérer enregistrer 8 années sur 10.

Le tracé des moyennes mobiles arithmétiques constitue une autre méthode pour mettre en évidence la variabilité des précipitations annuelles ou mensuelles. Nous proposons ci-dessous (fig. 11-1 et 11-2) des exemples tirés de l'étude de MIETTON (1988). Ces exemples concernent respectivement les sites de Dori et de Ouahigouya dans la zone sahélienne, Pô et Tiébélé dans la zone nord-soudanienne. Comme on peut le remarquer, ils mettent bien en évidence, entre autres, le début de la période sèche qui a commencé pratiquement au milieu de la décennie 1960-1969!

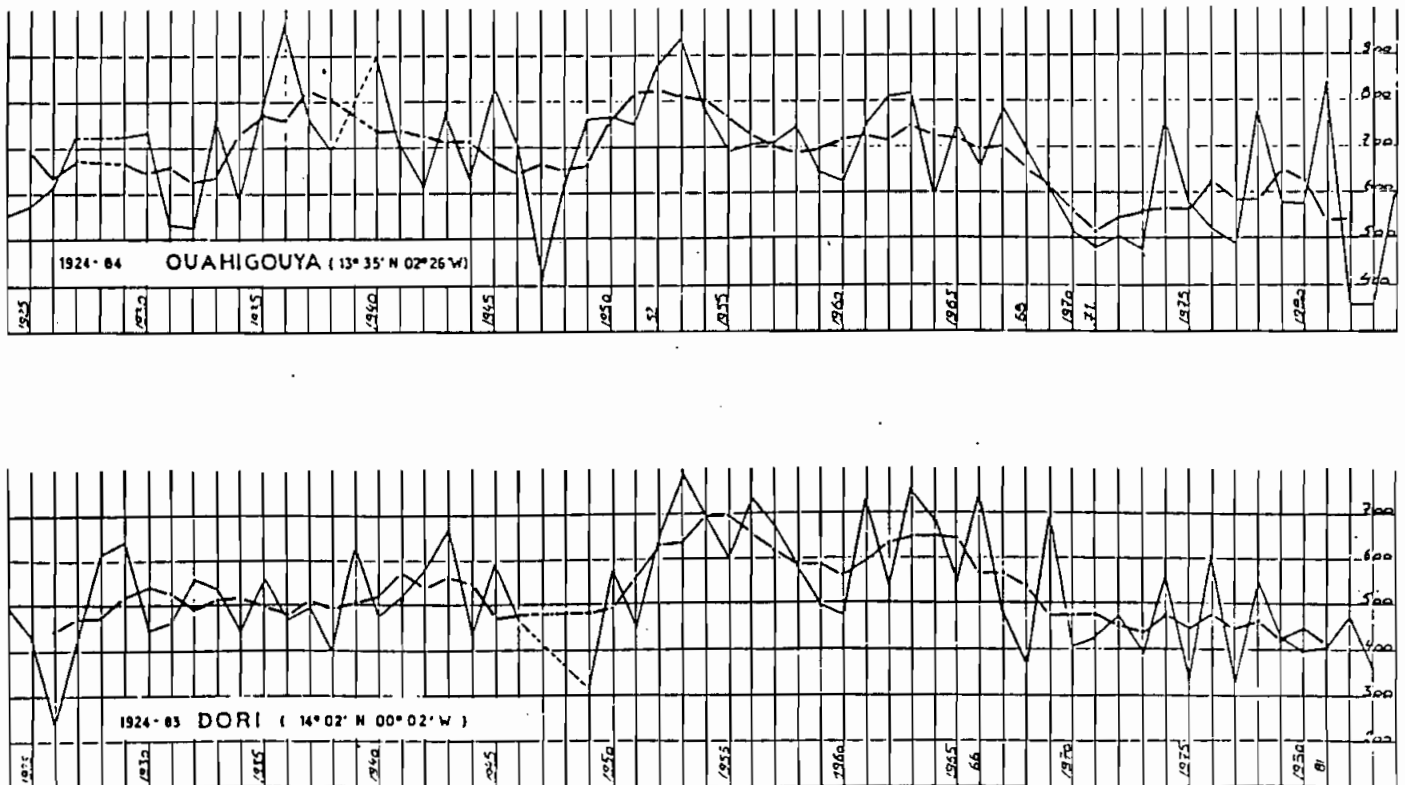


Figure 11-1: Tendence des précipitations annuelles.
Moyennes mobiles annuelles à Dori et Ouahigouya (MIETTON, 1988).

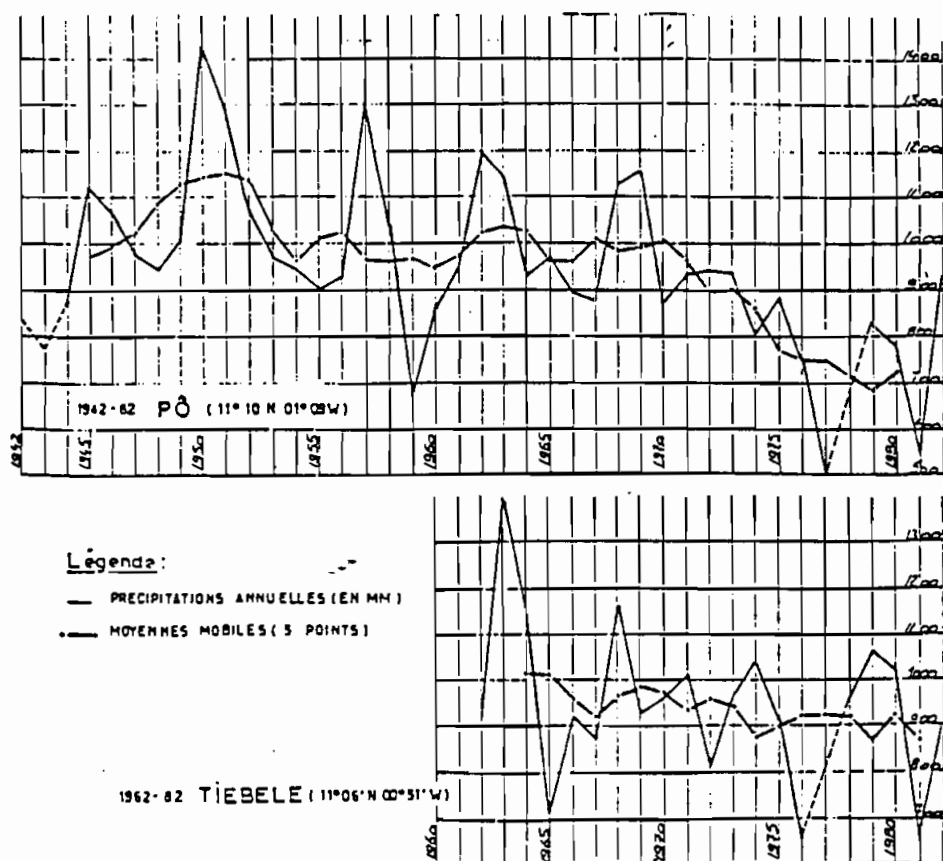


Figure 11-2: Moyennes mobiles annuelles à Pô et Tiébélé (MIETTON, 1988).

2.1.2. Pluviosité saisonnière et mensuelle.

Dans l'ensemble du Burkina, la pluviométrie est unimodale (figures 11-3 à 11-7). La masse d'air humide d'origine atlantique remonte du sud-ouest. Les pluies y commencent dès le mois d'avril. D'abord sporadiques (lignes de grains, orage), celles-ci s'installent progressivement dans tout le pays à partir de juin. Le mois d'août est partout le plus pluvieux. Généralement, la descente du FIT vers le sud fait que les pluies cessent assez brutalement à la fin de septembre au moment où les céréales n'ont pas fini leur maturation (OUATTARA et GNOUMOU, 1982).

Les fréquences décadaires des pluies montrent bien non seulement une régression des moyennes enregistrées respectivement durant les périodes de 1950-1968, 1950-1987, 1969-1987, mais aussi cet arrêt brutal des pluies qui survient d'autant plus tôt que l'on va vers le nord du pays. Le tableau 11-2 donne avec plus de détails les valeurs moyennes mensuelles espérées calculées durant la période 1970-1987.

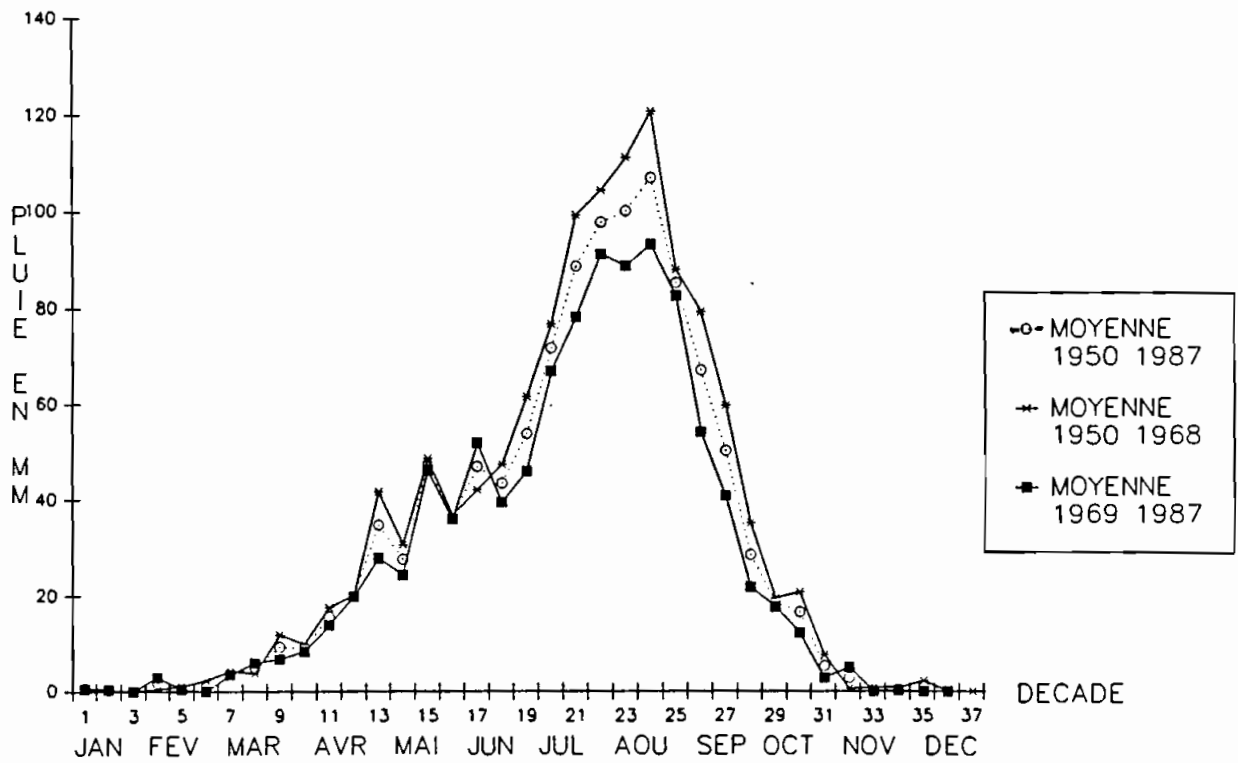


Figure 11-3 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie - Station de Bobo-Dioulasso.

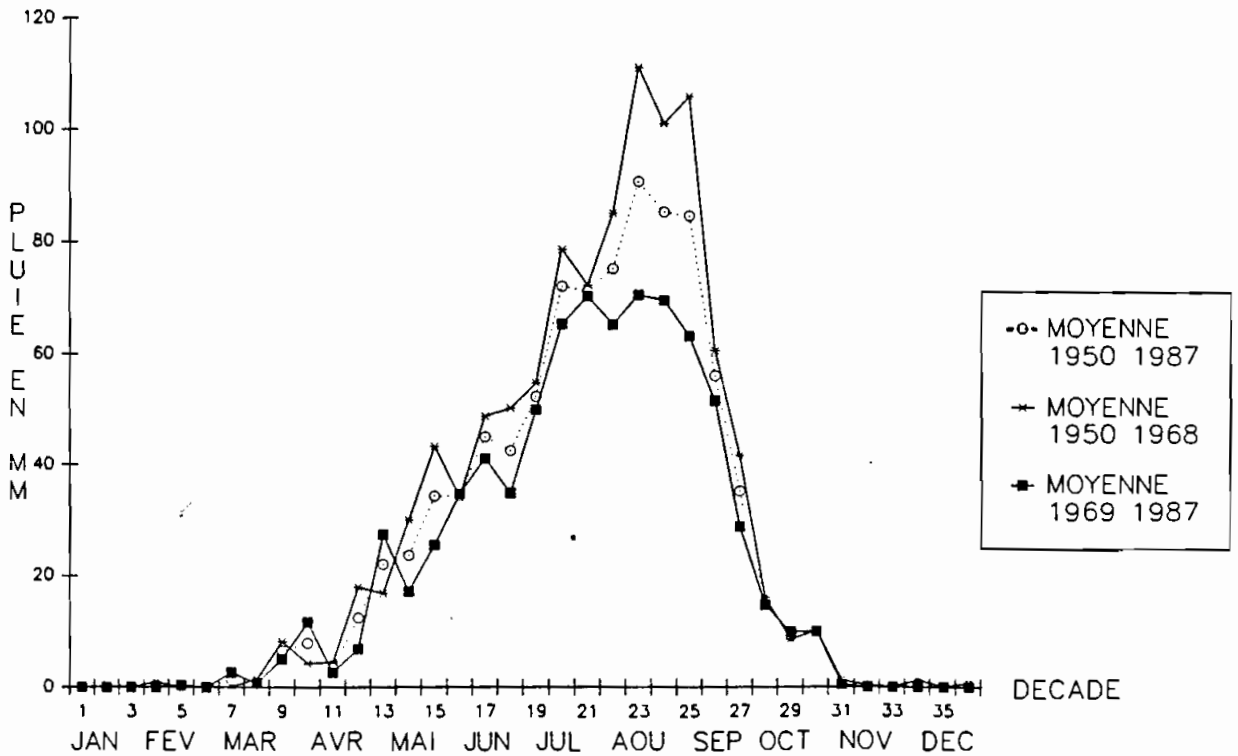


Figure 11-4 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie - Station de Fada n'Gourma.

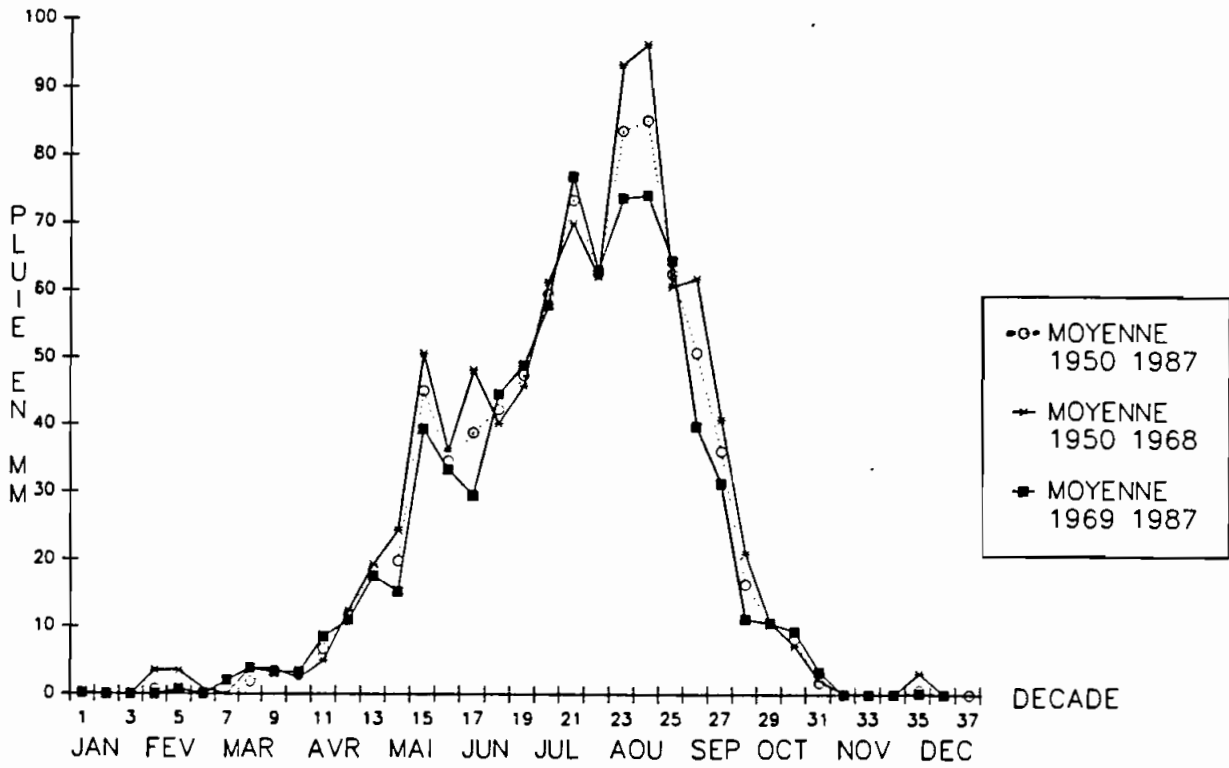


Figure 11-5 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie - Station de Ouagadougou.

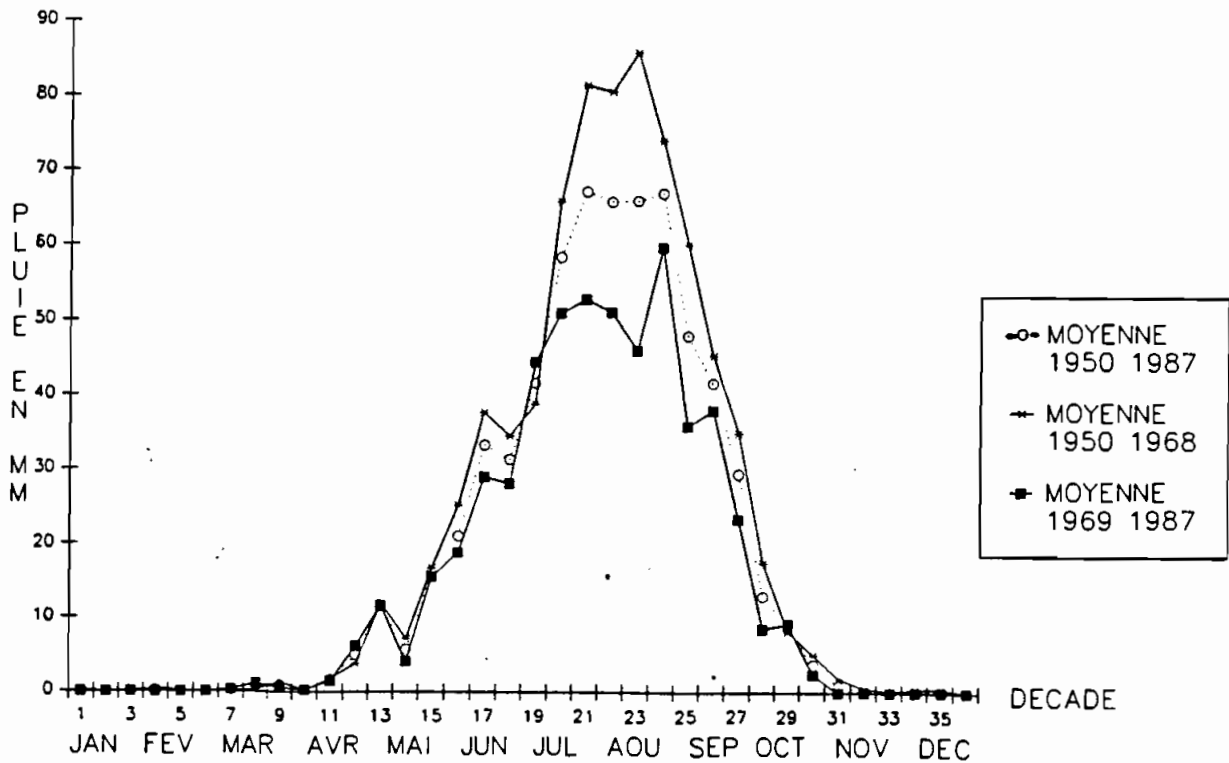


Figure 11-6 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie - Station de Ouahigouya.

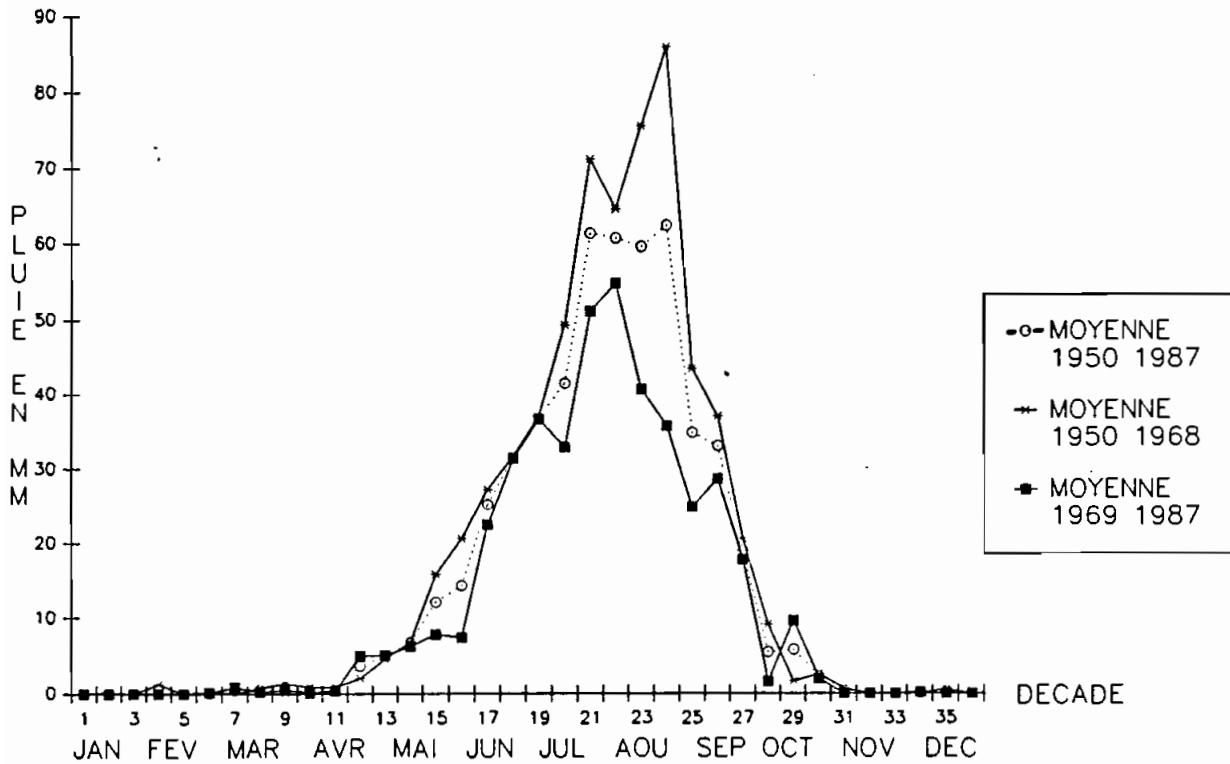


Figure 11-7 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie - Station de Dori.

Le tableau 11-3 montre sur l'ensemble des stations étudiées, un nombre élevé de fois où l'on peut enregistrer un "trou pluviométrique" de 3 à 10 jours successifs au cours de cette phase déterminante pour la production d'une culture de sorgho, mil ou maïs semée au début de la saison pluvieuse. Le nombre de jours de pluies n'est pas élevé et décroît d'autant plus que l'on va vers le Sahel. Sur la carte n° 5 proposée par BALDY (1980), nous avons superposé les valeurs calculées durant la période sèche 1970-1987. Il apparaît que le nombre de jours de pluie n'a pas beaucoup varié avec le temps. A signaler néanmoins pour Niangoloko, dans l'extrême sud-ouest, une réduction d'environ 10 jours des jours de pluie.

En revanche, on note une diminution des pluies supérieure à 40 mm ces dernières années. Le pourcentage des petites pluies enregistrées (inférieures à 10 mm) par rapport au nombre total des averses augmente régulièrement du sud au nord. En effet, ce chiffre passe de 45% à Pô en zone nord-soudanienne à 56% et 60% respectivement à Ouahigouya et Dori dans le Sahel (MIETTON, 1988).

SITES	MOIS	FREQUENCE	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE
NIANGOLOKO	8/10	21.1	61.6	102.2	177.5	182.2	152.2	45.3	0	
	5/10	51.1	124.0	127.5	202.1	241.3	172.9	67.8	5.6	
	2/10	80.8	157.4	167.9	252.2	313.6	219.2	86.4	18.9	
GAQUA	8/10	36.2	62.3	96.5	143.2	148.8	128.6	24.1	0	
	5/10	68.1	113.9	122.3	183.3	207.0	177.0	55.3	0.3	
	2/10	90.4	157.5	158.6	234.8	244.8	245.7	108.8	8.5	
SARIA	8/10	3.1	26.1	72.7	136.5	147.8	102.5	4.7	0	
	5/10	18.5	73.8	107.1	153.4	186.3	136.1	22.6	0	
	2/10	36.3	89.7	151.9	232.2	246.1	176.7	51.5	0.8	
OUAHIGOUYA	8/10	0	7.3	45.0	105.3	111.7	63.2	0.2	0	
	5/10	4.7	18.4	66.0	134.4	137.8	69.9	11.6	0	
	2/10	13.2	40.3	110.4	199.7	172.8	133.3	48.2	0	
GOROM GOROM	8/10	0	2.4	8.9	58.3	86.0	21.0	0	0	
	5/10	0	7.0	44.8	77.0	120.8	43.5	0	0	
	2/10	7.4	23.1	70.9	146.1	154.9	70.8	15.3	0	

Tableau 11-2 : Variabilité fréquentielle de la pluviométrie mensuelle pour cinq stations du Burkina Faso
Période 1970-1987.

	PERIODE.	GAOUA		BOBO-DIOULASSO.		SARIA		TENKODOGO		KANTCHARI		OUAHIGOUYA	
		sept.	oct.	sept.	opt.	sept.	opt.	sept.	opt.	sept.	opt.	sept.	opt.
3 à 5 jours	1950 1987	1.3	2.6	1.1	3.1	1.9	2.5	1.7	2.6	2.3	2.2	1.8	2.5
	1970 1987	1.6	2.5	1.4	3.1	2.2	2.4	1.7	2.4	2.7	2.4	1.9	2.2
6 à 10 jours	1950 1987	0.1	1.2	0.1	1.5	0.5	1.5	0.5	1.4	0.5	1.5	0.5	1.6
	1970 1987	0	1.4	0.2	1.6	0.7	1.6	0.8	1.5	0.3	1.6	0.4	1.4
plus de 10 jours	1950 1987	0	0.3	0	0.7	0	0.8	0	0.7	0.1	0.8	0.1	0.8
	1970 1987	0	0.5	0	0.8	0	0.9	0	0.9	0.1	1.0	0.2	0.8

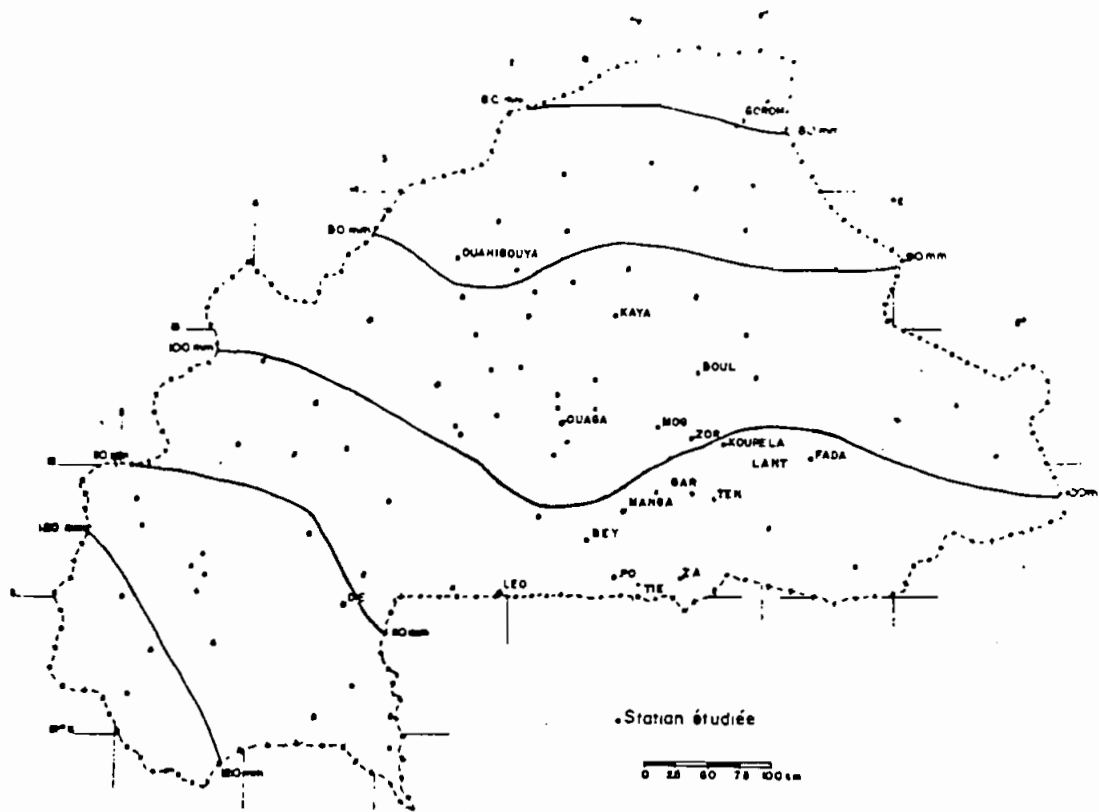
Tableau 11-3 : Nombre de fois où l'on enregistre n jours successifs sans pluie durant les mois de septembre et octobre pour six stations du Burkina Faso.

Plusieurs études ont déjà été publiées sur ces averses exceptionnelles (BRUNET-MORET, 1963, 1968; LAHAYE, 1980; MIETTON, 1988). Une année sur 10, on peut enregistrer une pluviométrie journalière de 110 à 120 mm dans la zone sud-soudanienne. La même pluviométrie est observée une année sur 100 dans le Sahel (cartes n° 6 et 7, in MIETTON 1988). Nous proposons dans le tableau 11-4 les fréquences des pluies journalières exceptionnelles observées à Ouagadougou située en région centre de la zone nord-soudanienne.

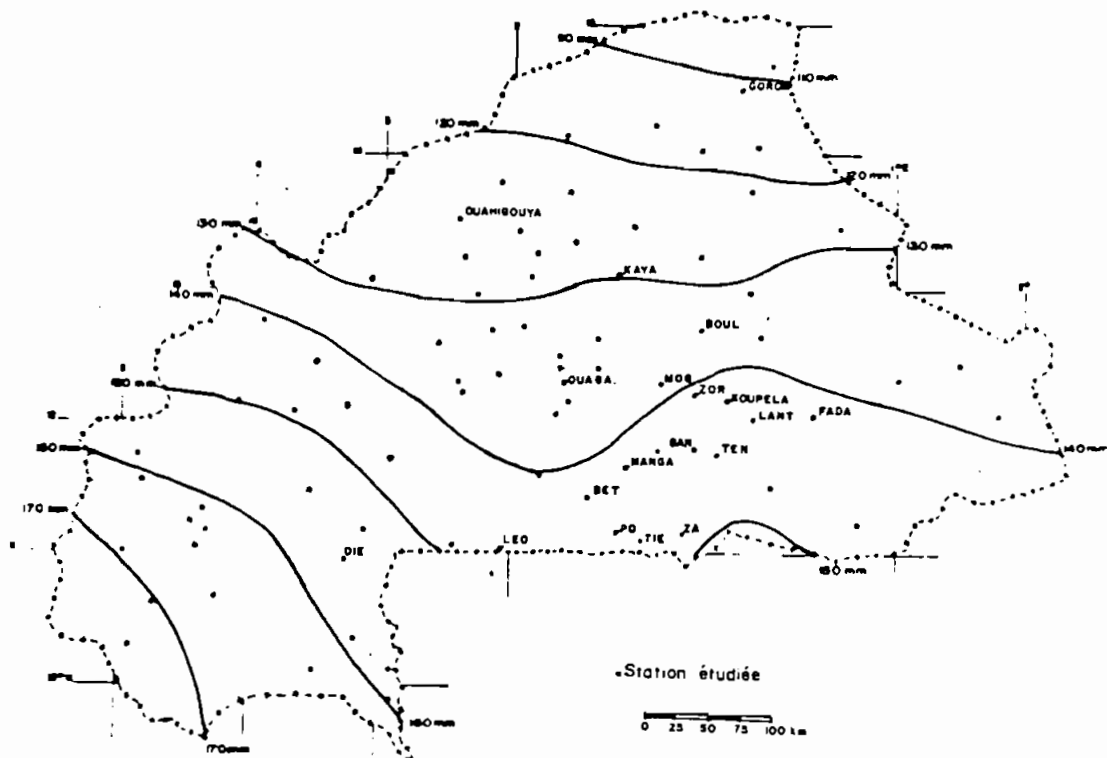
Durée de retour (ans)	5	10	20	50	100
Fréquence (%)	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
X (mm), période de référence 1921-1957 (d'après BRUNET-MORET)	92	107	123	147	166
X (mm), période de référence 1921-1976 (d'après LAHAYE)	84	97	109	124	137

Tableau 11-4: Fréquences de retour des pluies journalières exceptionnelles à Ouagadougou.

L'ajustement a été réalisé sur les valeurs réduites (X/X) qui suivent une loi de GUMBEL. Les tracées des isohyètes des figures 6 et 7 ont subi un lissage, d'où leurs aspects réguliers et sensiblement parallèles. Les différences de valeurs de la pluie pour une même fréquence corroborent les déficits pluviométriques mis en évidence depuis 1969.



Carte n° 6: Isohyètes des pluies journalières maximales annuelles en mm, de fréquence décennale, d'après J.P. LAHAYE, 1980 (loi de GUMBEL).



Carte n° 7: Isohyètes des pluies journalières maximales annuelles en mm, de fréquence centennale, d'après J.P. LAHAYE, 1980 (loi de GUMBEL).

2.1.4. Les types de pluie et leurs impacts sur le ruissellement et l'érosion.

La typologie des pluies survenant au Burkina Faso a été étudiée par plusieurs auteurs (ROOSE et al, 1974; MIETTON, 1980, 1988; BALDY, 1985). Sur la base des pluviogrammes de plusieurs stations et années, MIETTON a distingué cinq types de pluie en prenant en compte, entre autres aspects, la durée, la hauteur et l'intensité de celles-ci. Les différents types de pluie peuvent être regroupés (BALDY op. cité) en trois principaux groupes:

- les "lignes de grains". Elles sont caractérisées par une phase de grande intensité (60 à 120 mm/heure) qui peut durer de quelques minutes à une heure. Elles sont liées à la situation du FIT et du "Jet Stream" tropical. Elles sont de ce fait plus fréquentes sur la zone soudano-sahélienne (entre le 10ème et 16ème parallèle nord) en début (Mai-Juin) et fin (Septembre-Octobre) des pluies. Mais elles peuvent aussi se produire en pleine saison sèche lorsque des ondulations exceptionnelles du FIT au dessus du Tchad et du nord du Cameroun provoquent leur développement.

Parmi les types de pluie, les "lignes de grains" sont de loin les plus érosives, surtout lorsqu'elles surviennent en mai ou juin sur un sol nu et sec qui vient de passer 6 à 7 mois sans aucune pluie.

- les orages thermiques locaux sont des pluies accompagnées ou non de vent. Elles présentent une seule phase plus ou moins intense. Ces orages se déclenchent le plus souvent en fin de journée.

- les pluies "de mousson" sont dues à des grandes masses d'air humides arrivant du sud/sud-ouest à partir de l'Atlantique. Elles se caractérisent par des pluies d'intensité faible à modérée (1 à 10 mm/heure en général) mais de longue durée. Elles ont une répartition très régulière sur de vastes zones géographiques pouvant atteindre jusqu'à un million de Km² (BALDY, communication personnelle).

Ces pluies se raréfient en zones nord-soudanienne et sahelienne mais peuvent représenter jusqu'aux quatre cinquièmes des précipitations de Juillet à Septembre dans la zone sud-soudanienne.

Les deux derniers types de pluie sont moins agressifs en matière de ruissellement et d'érosion.

2.1.5. Conclusion sur les précipitations.

Les précipitations au Burkina se caractérisent en général par une grande variabilité spatio-temporelle. Cette irrégularité entraîne un risque important de déficit hydrique pour les cultures annuelles. Nous chercherons à mieux le caractériser dans le zonage de base des potentialités agro-pédoclimatiques en prenant en compte les autres facteurs du milieu.

2.2. Durées d'insolation et rayonnement.

Une étude de ces paramètres a été faite sur l'ensemble des stations disponibles (OUEDRAOGO et al, 1981). L'insolation varie en moyenne annuelle de 8 heures par jour dans le sud-ouest à 9 heures et 30 minutes par jour dans le Sahel. Le mois d'Août est le moins ensoleillé. La figure 11-8 présente les durées moyennes mensuelles d'insolation pour les stations de Dori, Fada n'Gourma et Gaoua. Ces moyennes sont calculées pour la période 1970-1987. Les différences entre ces trois stations ne sont notables que de Mai à Octobre où les durées d'insolation décroissent progressivement du nord au sud-ouest.

Le rayonnement global est en moyenne supérieur à 2000 jcm^{-2} par jour. La figure 11-9 montre les variations du rayonnement globale reçu au cours de chaque mois pour les mêmes stations que l'insolation et pour la même période.

Comme on peut le constater, l'énergie ne constitue pas un facteur limitant à la production végétale au Burkina et cela pendant toute l'année.

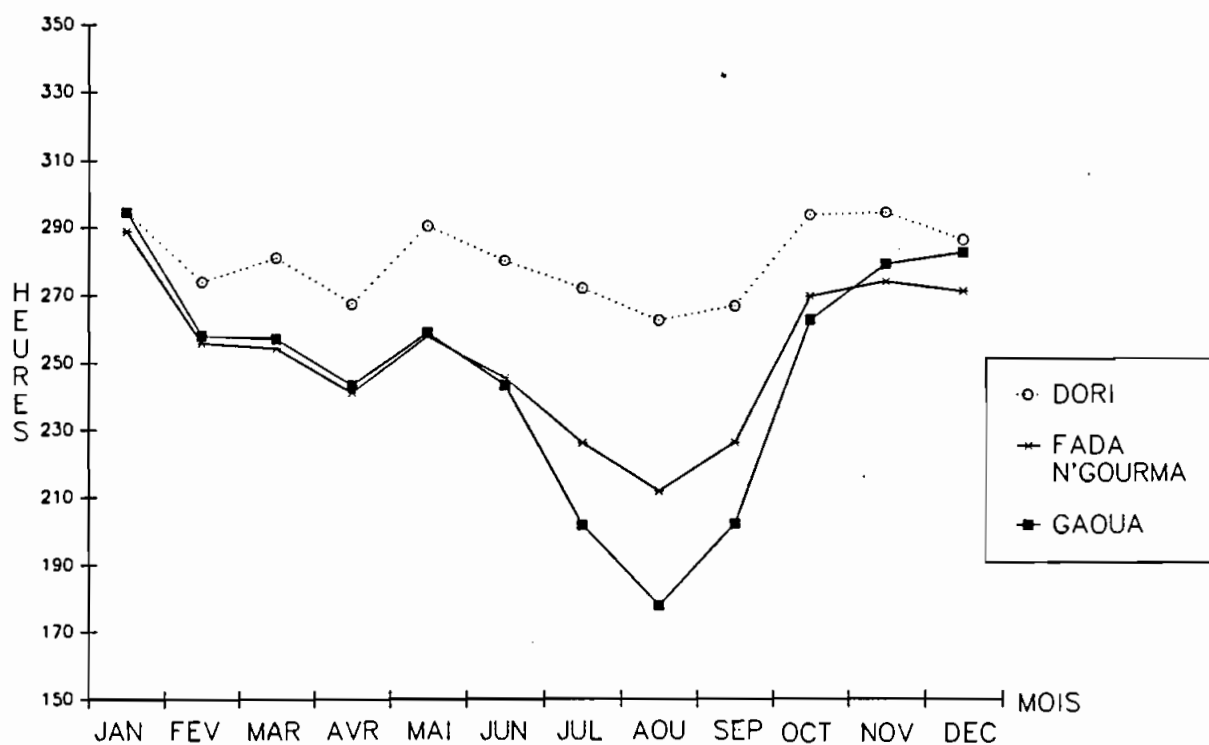


Figure 11-8 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de l'insolation pour la période 1970-1987.

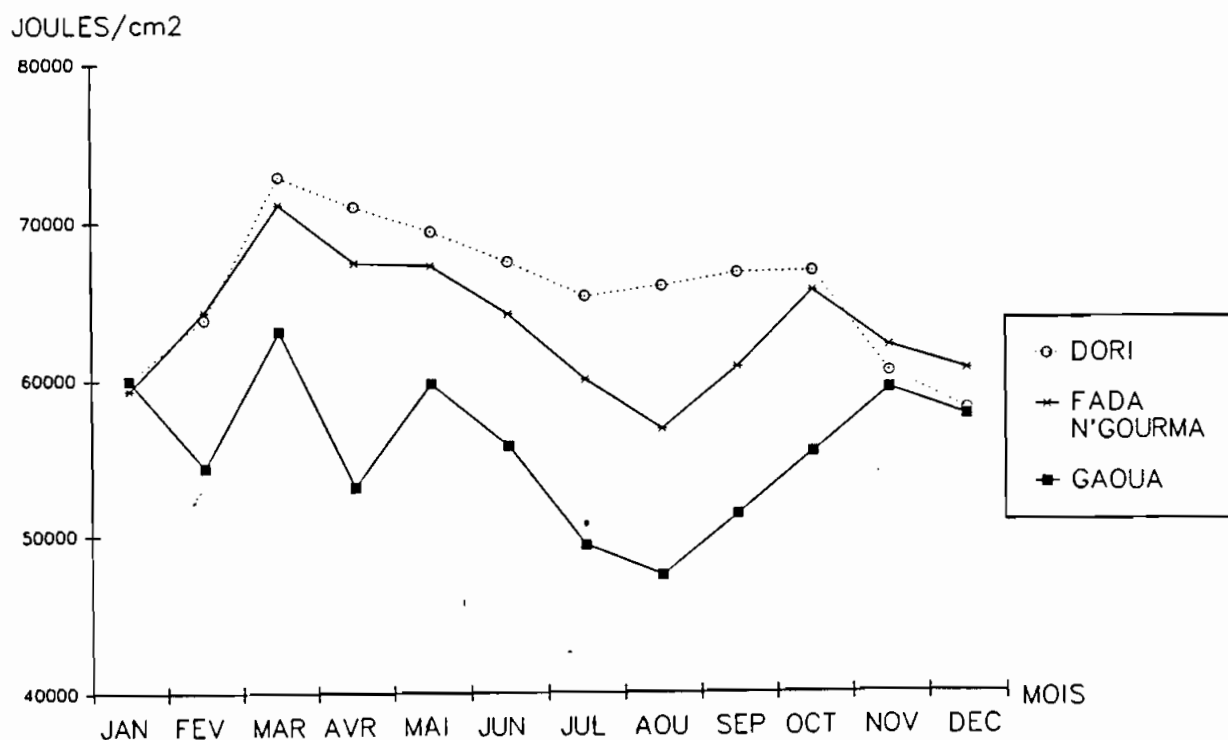


Figure 11-9 : Variations des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement global pour la période 1970-1987.

2.3. Les températures sous abri.

D'une façon générale, le climat est chaud avec quelques variations au cours des saisons permettant de déterminer quatre périodes:

- deux périodes de fortes températures respectivement de Mars à Mai, puis en Octobre et Novembre, où les températures maximales sous abri varient de 35°C à plus de 40°C, et les minimales de 21°C à 28°C.

- deux périodes relativement plus fraîches, respectivement de Décembre à Février et de Juin à Septembre. Au cours de ces périodes, les températures extrêmes sont moins élevées.

De la zone sud-soudanienne à la zone sahélienne, les variations des températures sont perceptibles surtout pendant la période allant d'Avril-Mai à Octobre, comme le montre la figure 11-10, où l'on a représenté les moyennes des températures extrêmes sous abri des stations de Farako-Ba (zone sud-soudanienne), Saria (zone nord-soudanienne) et Dori (Sahel).

La température durant la saison pluvieuse ne constitue pas un facteur pouvant limiter la production des cultures étudiées ici, qui sont toutes les trois des espèces en C4. En effet, contrairement aux plantes en C3, ces espèces sont plus sensibles aux basses températures qu'aux températures élevées si le facteur eau n'est pas limitant (BLACK, 1971; MAZLIAK, 1974).

Dans l'étude très détaillée de SIVAKUMAR et GNOUMOU (1987) sur l'agroclimatologie du Burkina, on montre que les variations de température pour les différents sites sont relativement faibles. Par contre, les possibilités de dépasser 30°C en température maximale sous abri sont de 100% pour tous les mois de l'année. Mais celles de dépasser 40°C au cours de la saison de culture sont nulles dans tout le pays.

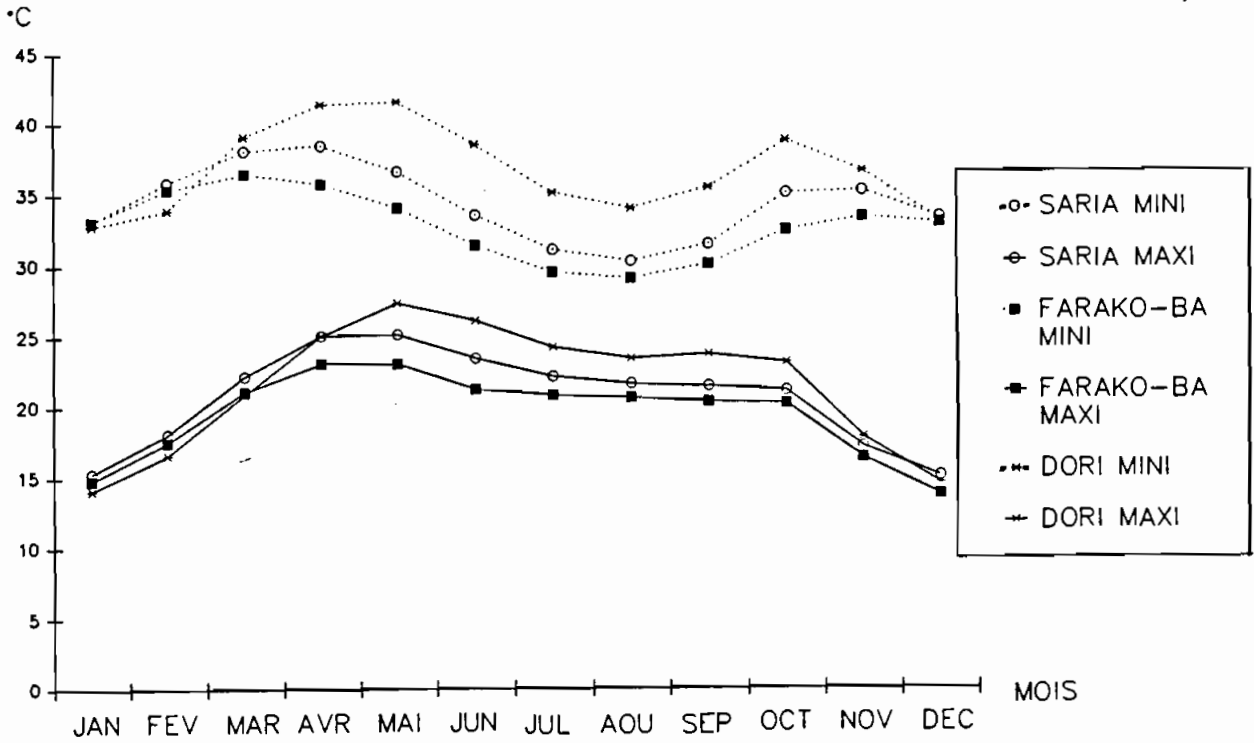


Figure 11-10 : Variations des valeurs moyennes mensuelles des températures maximales et minimales pour la période 1970-1987.

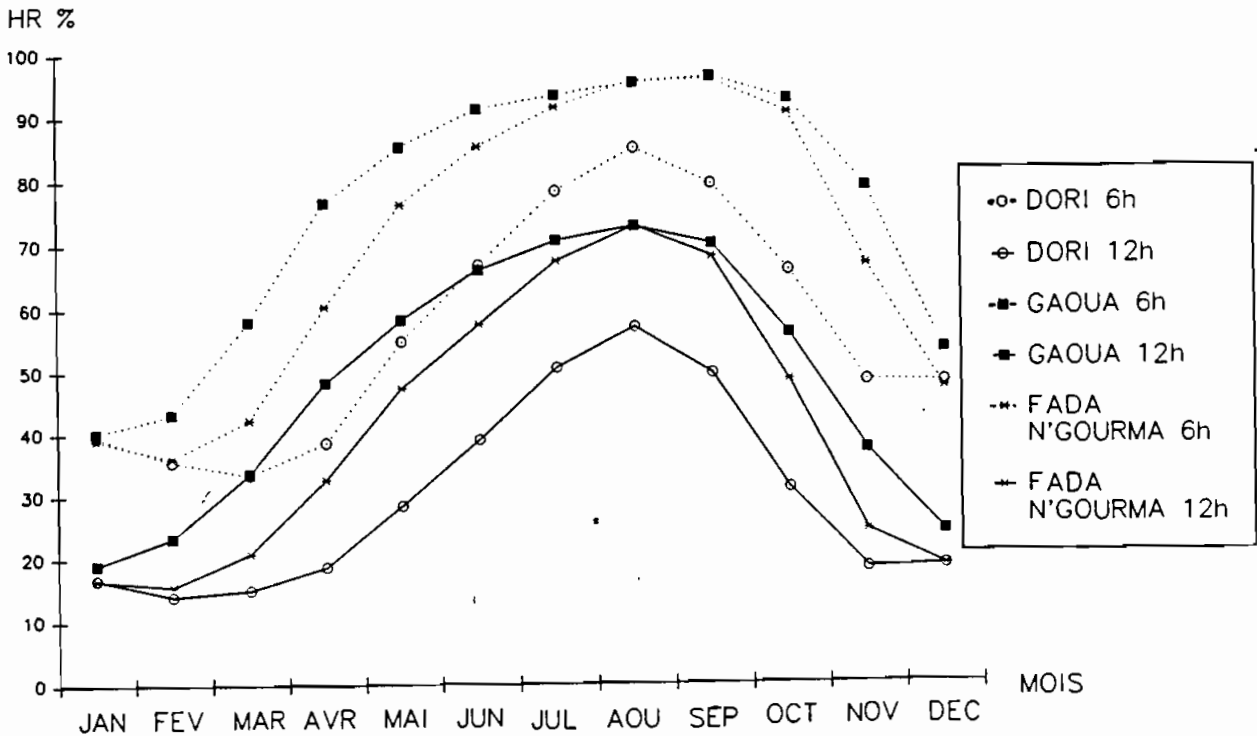


Figure 11-11 : Evolution des humidités moyennes de l'air pour la période 1970-1987 (humidité mesurée à 6 h et 12 h).

2.4. L'humidité relative.

L'humidité relative exprime la pression partielle de vapeur d'eau en pourcentage de sa valeur maximale, elle même fonction de la température de l'air. Généralement très faible (10 à 20%) en milieu de journée notamment en saison sèche, l'humidité relative peut dépasser 90% en saison pluvieuse au levé du jour.

La figure 11-11 donne l'évolution, au cours de l'année, des humidités relatives moyennes sous abri mesurées à Dori, Fada N'Gourma et Gaoua au lever du jour (6 heures) et à 12 heures. On remarque qu'entre Décembre et Mars, l'air demeure sec sur tout le pays, qui se trouve sous l'influence de l'harmattan.

2.5. Les vents.

Nous avons représenté en figure 11-12, les roses des vents pour 4 stations du Burkina. Les pourcentages des fréquences des vents ont été calculés par la Météorologie Nationale. Ils concernent la période 1951-1980. Les fréquences des calmes au niveau de ces stations sont:

	<u>Dori</u>	<u>Ouagadougou</u>	<u>Fada</u>	<u>Gaoua</u>
<u>saison sèche</u>	35,58%	20,94%	21,81%	40,97%
<u>saison pluvieuse</u>	45,83%	16,89%	31,19%	38,99%

On retrouve bien sur la figure 11-12, l'influence des mouvements alternatifs du FIT qui, d'une saison à l'autre, change pratiquement de 180° la direction du vent dominant. On note aussi (figure 11-13) un effet de la latitude sur la vitesse moyenne journalière calculée pour les 8 observations journalières. En effet, on peut remarquer que pour Gaoua, la vitesse moyenne du vent est optimale en Mars et Avril. Alors que pour les deux autres stations, c'est en Mai et Juin.

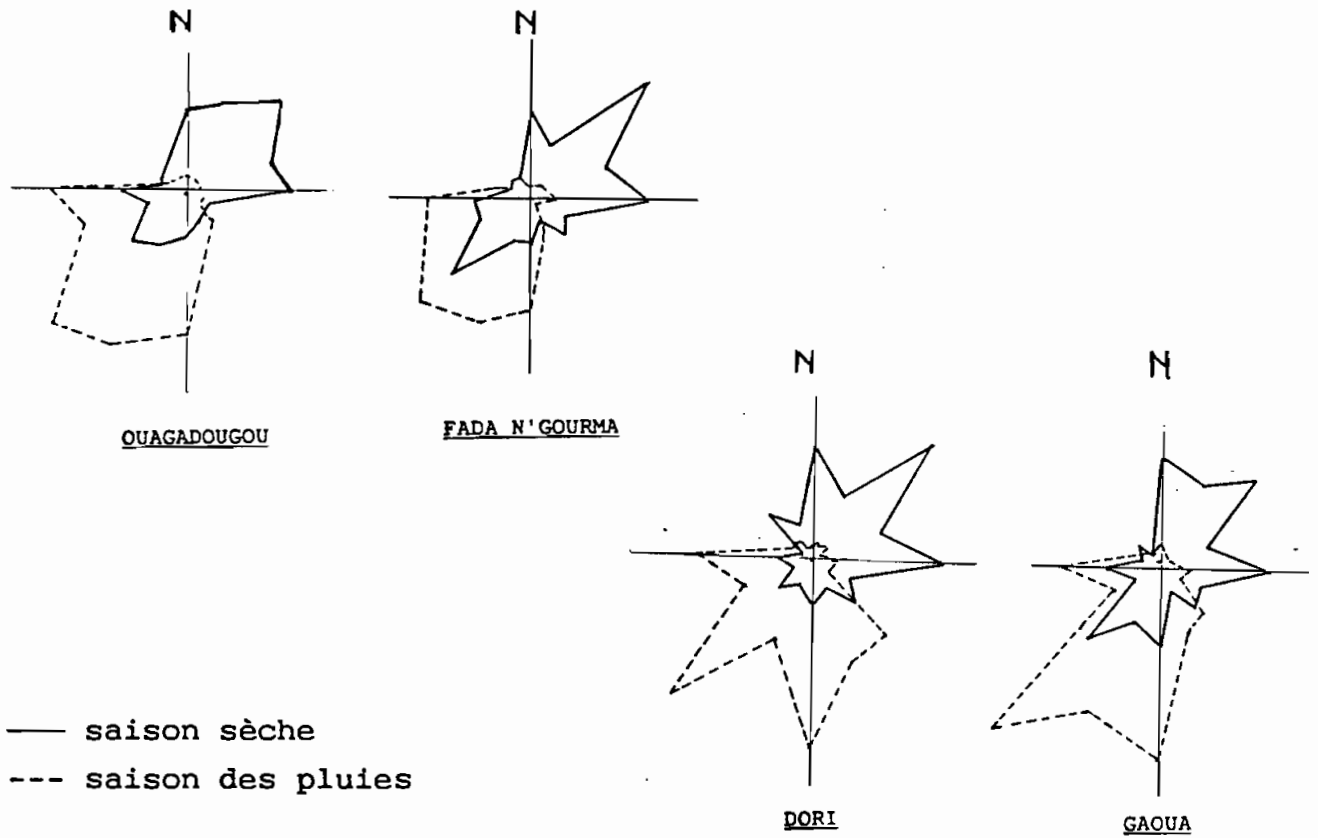


Figure 11-12: Roses des vents pour quatre stations du Burkina.

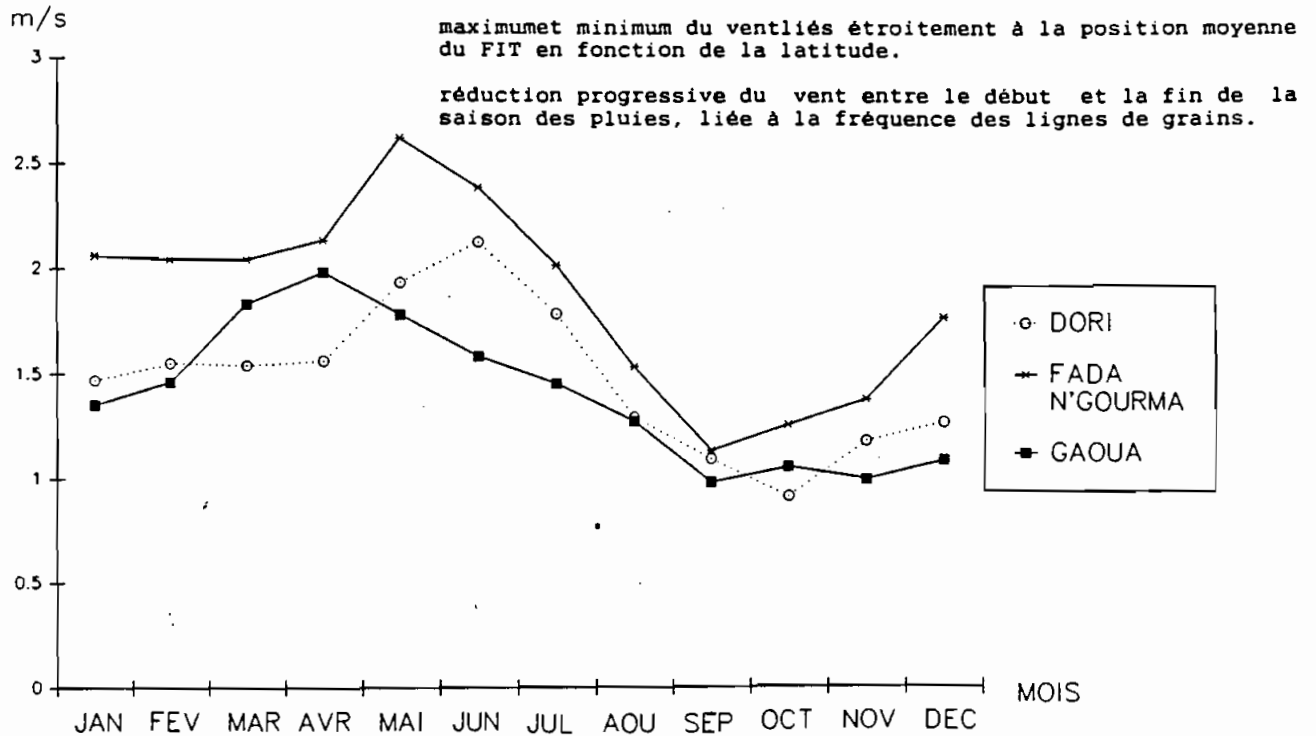


figure 11-13 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent pour la période 1970-1987. (moyenne des huit observations journalières).

Les tableaux 11-5 et 11-6 donnent les fréquences mensuelles et annuelles d'un vent instantané quotidien maximum mesuré dans les stations aéronautiques de Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. Les résultats sont exprimés en pourcentage du nombre total de journées d'observations qui sont respectivement de 3610 et 3001 pour les deux stations au cours des périodes considérées (MIETTON, 1988).

Force du vent	>= 10 noeuds (5,4 m/s)		>= 9 noeuds (4,85 m/s)	
Mois	Juin	43,1%	Juin	55,2
	Mai	42,0	Mai	52,3
	Juillet	36,0	Juillet	45,5
	Août	34,0	Avril	44,1
	Septembre	33,0	Mars	43,2
	Avril	26,0	Août	41,9
	Octobre	23,1	Septembre	39,3
	Mars	22,4	Février	31,9
	Février	13,0	Octobre	29,3
	Janvier	6,8	Janvier	19,1
	Novembre	6,0	Novembre	17,1
	Décembre	4,3	Décembre	14,1
Année		24,4		36,1

Tableau 11-5: Fréquences mensuelles et annuelles d'un vent instantané quotidien maximum à Ouagadougou (1968-1977).

Les mois les plus fréquemment affectés par un vent instantané supérieur ou égal à 5m/s, sont les mois de Mai, Juin, Juillet, puis Avril et Septembre. Cela correspond bien à la phase d'installation de la mousson, et secondairement, à la phase plus rapide de son retrait qui sont toutes deux caractérisées par un grand nombre de "lignes de grains".

Force du vent	>= 10 noeuds (5,4 m/s)		>= 9 noeuds (4,85 m/s)	
Mois	Mai	38,1%	Mai	50,2%
	Juin	37,5	Juin	50,0
	Septembre	28,2	Avril	43,4
	Avril	25,3	Septembre	34,6
	Juillet	21,5	Mars	32,6
	Octobre	20,1	Juillet	29,4
	Août	17,5	Octobre	27,8
	Mars	16,7	Janvier	27,3
	Février	14,2	Février	26,1
	Janvier	11,5	Août	25,8
	Novembre	5,1	Novembre	10,6
	Décembre	1,9	Décembre	6,2
Année		20,4		31,3

Tableau 11-6: Fréquences mensuelles et annuelles d'un vent instantané quotidien maximum à Bobo-Dioulasso (1968-1976).

L'analyse de l'évolution du vent au cours de la journée a permis de noter certaines situations très localisées qui créent des microclimats. C'est le cas observé par exemple à la vallée du Kou et à la station de recherches agricoles de Farako-Ba, toutes deux situées non loin de la station synoptique de Bobo-Dioulasso (BALDY, 1985).

2.6. La demande évaporative.

Facteur important dans le bilan hydrique des cultures, la demande évaporative en un lieu donné peut être traduite par la valeur mesurée ou calculée de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de l'endroit. Au Burkina, on dispose surtout des mesures de l'évaporation, notamment celle du bac classe A, et des données météorologiques à partir desquelles on calcule l'ETP, selon la formule de Penman.

Plusieurs auteurs (DANCETTE, 1976; BALDY, 1978; HALLAIRE et PERRIER, 1979) ont d'ailleurs montré qu'il existait une proportionnalité entre l'ETP et l'évaporation du bac (EVA). Cette dernière est proche de l'ETP en saison des pluies quand l'humidité relative de l'air demeure proche de 100%. La formule proposée par BALDY est la suivante:

$$\text{ETP} = \frac{\text{EVA}}{2 - 1,25 \text{ HR}}$$

avec ETP: méthode Penman

EVA: évaporation du bac A

HR: humidité relative moyenne pendant la période considérée, exprimée entre 0 et 1 (1=100%).

L'évaporation au Burkina subit des fortes variations saisonnières (figure 11-14). Elle est maximale durant la période chaude de la saison sèche, mais décroît assez rapidement à l'arrivée de la saison des pluies. Ce qui se passe avec un décalage dans le temps du sud au nord du pays. Elle dépend localement de l'environnement du site de mesure.

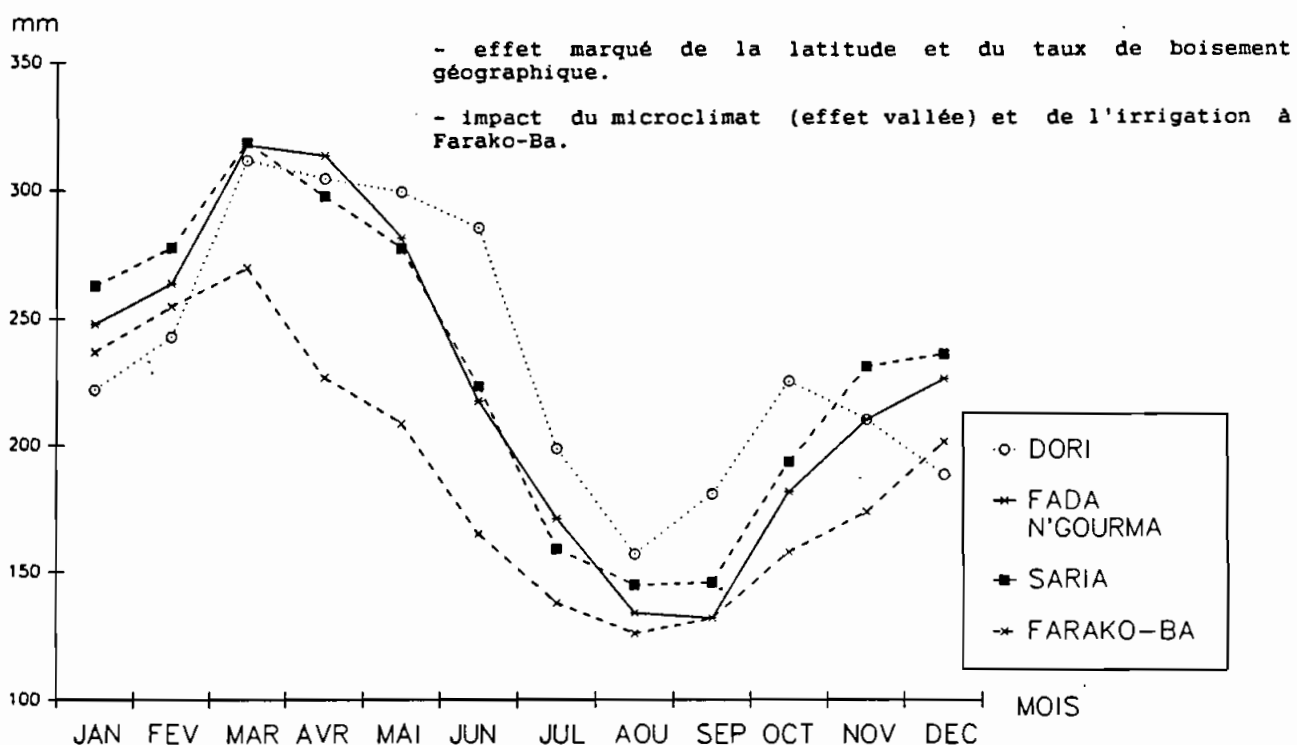


figure 11-14 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation du Bac classa A pour la période 1970-1987.

2.7. Conclusion sur les facteurs climatiques.

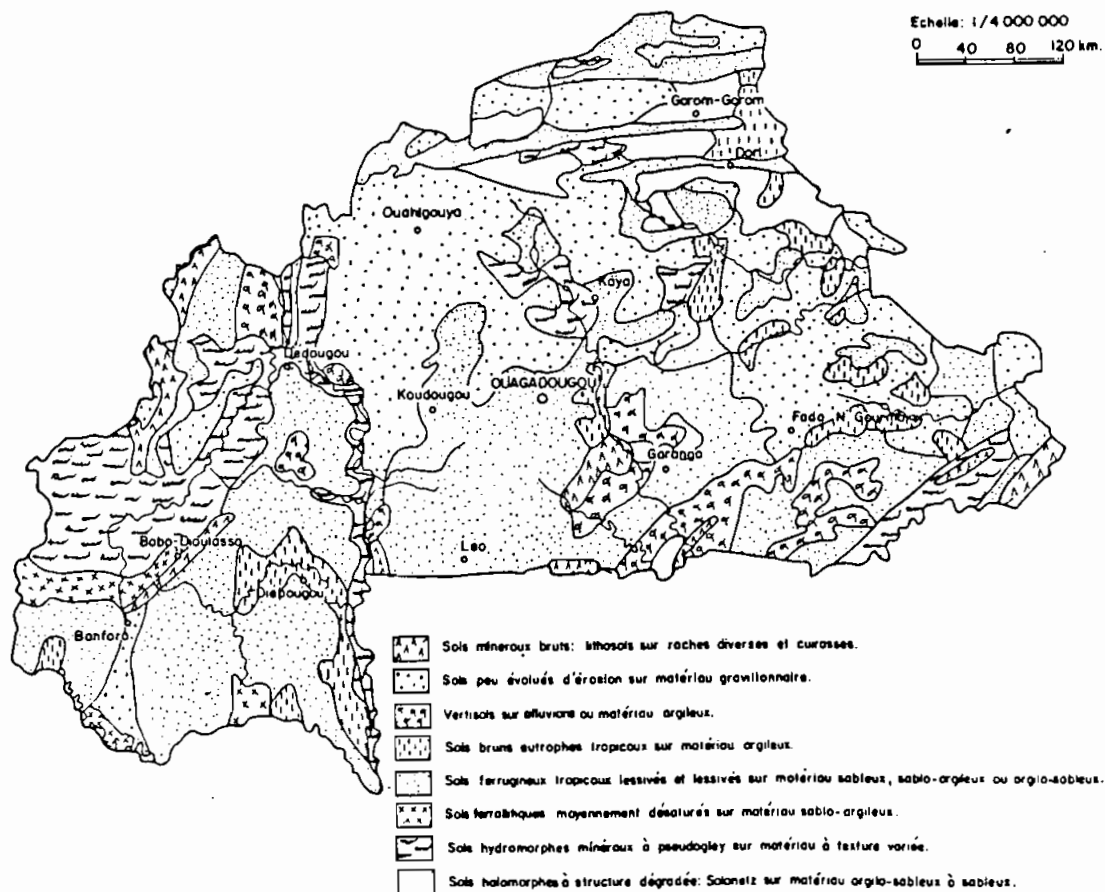
Les facteurs climatiques varient beaucoup au Burkina au cours de l'année, et d'un site à un autre en fonction des zones climatiques. Cela est dû essentiellement aux variations saisonnières du FIT. Mais des situations locales particulières peuvent influencer sur certains facteurs. Ces variations se retrouvent indubitablement dans le comportement de la culture, notamment dans son alimentation hydrique, d'où la nécessité d'effectuer un zonage de base pour mieux situer les résultats agronomiques dans le contexte agro-pédoclimatique de leur acquisition.

3. LES SOLS.

Les sols du Burkina ont été étudiés par plusieurs Institutions de recherche et organismes de développement. En 1969, l'ORSTOM avait réalisé une première couverture du territoire et dressé une carte pédologique qui constitue toujours aujourd'hui la base de la plupart des études pédologiques menées dans le pays (BUNASOLS, 1985).

3.1. Typologie générale des sols du Burkina Faso.

Les pédologues ont classé l'ensemble des sols du pays en huit groupes principaux représentés sur la carte n° 8, qui a été proposée par le Bureau National des Sols (BUNASOLS) en 1985 sur la base d'autres études antérieures (PERON et al, 1975). Nous verrons plus en détail ceux sur lesquels ont été implantés les essais agronomiques (seconde partie, chapitre IV).



Carte n° 8: Les sols du Burkina Faso.

3.2. Principales contraintes communes des sols.

Chaque groupe de sols présente des caractéristiques et des contraintes révélées par plusieurs études (JENNY, 1964; LEPRUN et MOREAU, 1964; KILIAN, 1974; TEISSIER, 1974; GUILLOBEZ, 1979 et 1985; BARRO, 1981...).

De façon générale, les sols du Burkina ont un faible niveau de teneur en éléments fertilisants, notamment en phosphore et azote. Leur profondeur est généralement limitée par une cuirasse qui affleure même en surface en certains endroits. Le niveau de la réserve en eau varie avec la toposéquence. Généralement faible en haut de pente, (<60 mm/mètre de sol), la réserve utile peut dépasser 150mm/mètre dans les sols alluvionnaires le long des cours d'eau. C'est le cas par exemple des sols de la plaine irriguée du Sourou (SOME et NICOU, 1983). Ces sols subissent de façon très accrue le ruissellement et l'érosion hydrique (ROOSE, 1977). L'érosion éolienne est plus manifeste dans la zone Sahélienne.

3.3. Conclusion.

Au Burkina, le sol constitue un facteur limitant très important de la production végétale. Il a généralement un niveau de fertilité faible et une réserve utile qui dépend des caractéristiques mais aussi de la profondeur du sol, qui varie avec la toposéquence. Toute amélioration de la productivité agricole doit alors nécessairement passer par une amélioration de la fertilité du sol (propriétés physiques, chimiques et biologiques).

4. ETUDES DES MODIFICATIONS RECENTES DES POTENTIALITES AGRO-PEDOCLIMATIQUES AU BURKINA FASO.

4.1. Objectif.

L'analyse des précipitations a montré une baisse importante de la pluviosité à partir des années 1967-1968 (paragraphe 2.1.). Nous avons donc retenu deux séries chronologiques pour cette étude qui cherche à faire ressortir la dégradation du bilan hydrique, et à montrer la baisse des potentialités agro-pédoclimatiques de ces dernières décennies. La série 1950-1987 représente ce qu'on obtient quand on considère les années antérieures à pluviosité "normale" et la série 1970-1987 traduit la réalité actuelle depuis l'apparition de la sécheresse.

Contrairement aux autres études, notamment celles publiées par la Météorologie Nationale en 1982, et qui s'appuie essentiellement sur des paramètres climatiques (pluviométrie et évapotranspiration potentielle), notre étude repose sur le calcul du bilan hydrique permettant une approche plus fine et plus réelle de l'eau mise à la disposition de la culture. Elle doit déboucher sur la détermination des zones de référence présentant les mêmes potentialités agro-pédoclimatiques.

4.2. Méthodologie.

La méthode est basée sur la simulation du bilan hydrique pentadaire d'une culture de référence. On utilise un algorithme proposé par EAGLEMAN en 1971 pour calculer l'évaporation réelle (ETR) de la culture dans l'équation générale du bilan hydrique.

$$P \pm R \pm D + \Delta S - ETR = 0 \quad \text{avec}$$

P: précipitation

R: ruissellement

D: drainage

ΔS : variation du stock

ETR: évapotranspiration réelle.

Le modèle de bilan hydrique développé par FRANQUIN et FOREST en 1977 a été adapté à la micro-informatique (FOREST, 1984) selon un logiciel (BIP) comportant des versions de performances différentes.

La version BHZON que nous avons utilisée pour cette étude prend en compte les données climatiques et hydro-pédologiques suivantes:

- pluviométrie journalière.
- évapotranspiration potentielle (ETP).
- réserve en eau utile du sol (RU).

Ce modèle ne prend pas en compte le ruissellement. Ceci est regrettable car le ruissellement peut modifier notablement les termes du bilan selon la position du champ sur la toposéquence.

L'ETR est calculée en fonction de l'offre hydrique et de l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture. L'ETM est calculée à partir des données de coefficients culturaux et de la demande évaporative ETP ou EVA selon la relation:

$$ETM = Kc \text{ ETP} \quad \text{ou} \quad ETM = K'c \text{ EVA.}$$

EVA est l'évaporation d'une nappe d'eau libre du type du bac classe A.

Le modèle de bilan hydrique de l'IRAT utilise la seconde relation. Cela se justifie d'une part par la disponibilité des données du bac classe A dans toutes les stations synoptiques et agrométéorologiques dans la zone francophone de l'Afrique de l'Ouest, et d'autre part, par le fait que les données des coefficients culturaux que l'on peut trouver dans ces régions ont été obtenues en prenant le bac classe A comme référence (CIEH/IRAT, 1983).

Au Burkina, on dispose de très peu de résultats sur les coefficients cultureux (NICOU et al, 1984 à 1987). Par contre, il a été montré que, indépendamment de la culture, les coefficients pouvaient être reliés à la latitude suivant un modèle d'ajustement linéaire (FRETEAUD et al, 1984). Un logiciel informatique (LTKC) a donc été mis au point par l'IRAT. Ce logiciel sera utilisé ultérieurement dans d'autres versions du BIP, pour calculer au niveau de chaque site les coefficients cultureux des plantes. La version BHYZON, quant à elle, prend systématiquement le coefficient cultural égal à 1 pour tenir compte, en chaque situation, d'une ETM optimale.

A la sortie, le modèle découpe la saison des pluies "utile" en six périodes caractéristiques qui sont:

- 1- début de la préparation du sol au plus tôt.
- 2- début des semis favorables.
- 3- croissance et développement végétatif.
- 4- pleine végétation et reproduction.
- 5- remplissage des grains et maturation.
- 6- fin de l'hivernage utile.

En outre, le logiciel calcule:

- la durée utile de la saison des pluies.
- la durée du cycle optimal de culture (la période de semis-levée générale étant bornée à 20 jours au maximum).
- les périodes déficitaires en pleine végétation et maturation de la culture.

Les résultats sont donnés à trois niveaux de probabilité: 8, 5 et 2 années sur 10.

4.3. Etude des potentialités agropédoclimatiques.

L'analyse a concerné 40 stations du Burkina. Nous avons retenu les données portant sur:

- la période pentadaire marquant la fin de l'hivernage.
- la durée de la saison des pluies (en nombre de jours).
- la durée optimale du cycle de culture (en nombre de jours).
- la période la plus précoce où l'on peut réaliser la préparation du sol (labour, billons, etc...).
- la période la plus précoce où un semis peut être réussi.

On va uniquement commenter les résultats obtenus dans la majorité des années (8/10 années) avec l'hypothèse de 100 mm/m de réserve utile du sol, qui est la valeur observée dans la majorité des sites des essais agronomiques (annexe 2).

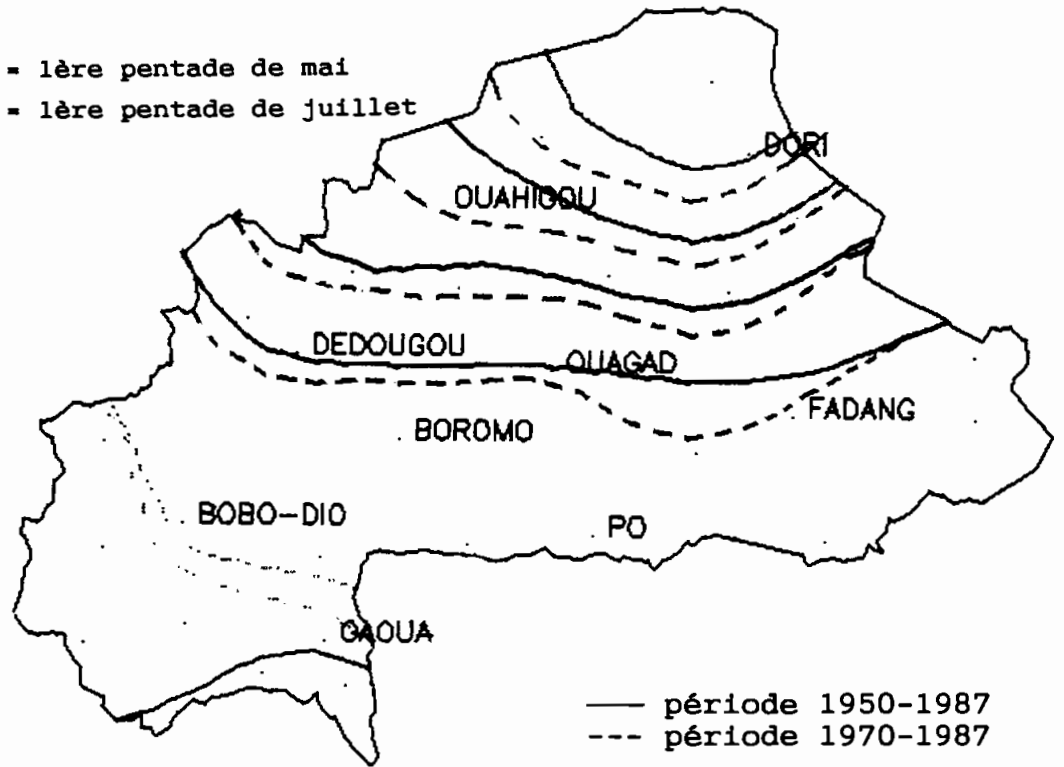
4.3.1. Périodes de préparation du sol et des semis.

L'analyse fréquentielle des dates les plus précoces où l'on peut commencer les travaux de préparation du sol, tels que le labour, le billonnage ou le scarifiage en humide, a permis de distinguer 4 zones (carte n° 9). Les périodes de préparation du sol n'ont pas subi de variations notables entre les deux périodes étudiées.

En comparant les dates de préparation du sol, qui marquent le début où l'on enregistre une pluviométrie égale ou supérieure à 20 mm, et celles des semis, c'est à dire au moment où on enregistre un indice ETR/ETP supérieur ou égal à 0,5, on se rend compte de l'installation difficile de la campagne agricole (carte n° 10). En effet, il se passe de 20 à 30 jours entre les deux périodes respectivement pour la zone I (sud-ouest) et les zones II et III (Plateau Central).

n° pentade

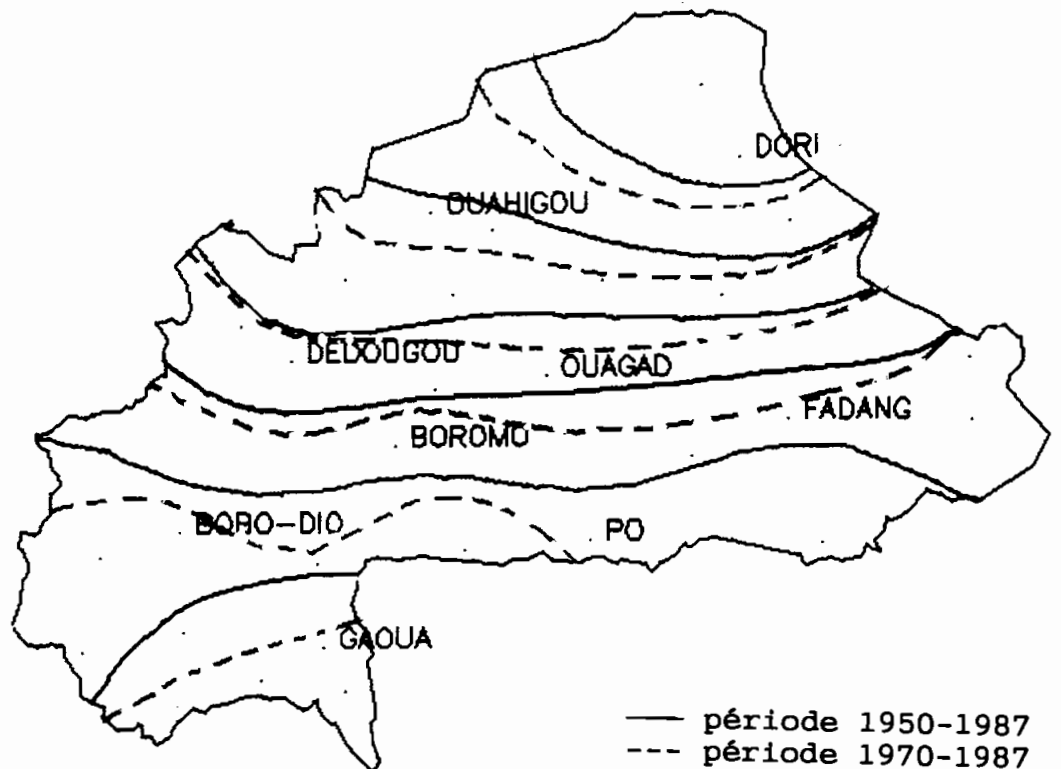
- 37.0 25 = 1ère pentade de mai
- 35.0 37 = 1ère pentade de juillet
- 33.0
- 31.0
- 29.0
- 27.0
- 25.0



Carte n° 9: Dates les plus précoces favorables à la préparation du sol, fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm.

n° pentade

- 41.0
- 39.0
- 37.0
- 35.0
- 33.0
- 31.0
- 29.0
- 27.0
- 25.0



Carte n° 10: Dates les plus précoces favorables aux semis fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm.

En réalité, comme l'agriculteur Burkinabé, en particulier celui du Plateau Central, ne réalise pas traditionnellement des travaux de préparation du sol, notamment le labour, ces deux périodes sont consacrées au semis. Ce qui, évidemment, entraîne plusieurs resemis jusqu'au moment favorable à une levée et installation correctes de la culture, c'est-à-dire un ou un mois et demi, voire davantage, après la pluie permettant un travail du sol.

Pour ce faire, le modèle utilise des seuils pluviométriques et de satisfaction des besoins en eau présentés au tableau 11-7.

Nous avons fixé pour cette étude la réserve utile à deux niveaux: 50 et 100 mm par mètre de sol. Et ceci pour rester le plus proche des valeurs que nous avons obtenues sur le terrain (annexe 2).

D'après cette étude, un semis dans la dernière décade de mai n'est réalisable 8/10 ans que dans l'extrême sud de la zone I.

En prenant le facteur réserve utile du sol et uniquement la période "sèche", on constate que les périodes de semis les plus précoces se situent plus tardivement que celles calculées par la Météorologie Nationale en 1982 (carte n° 11).

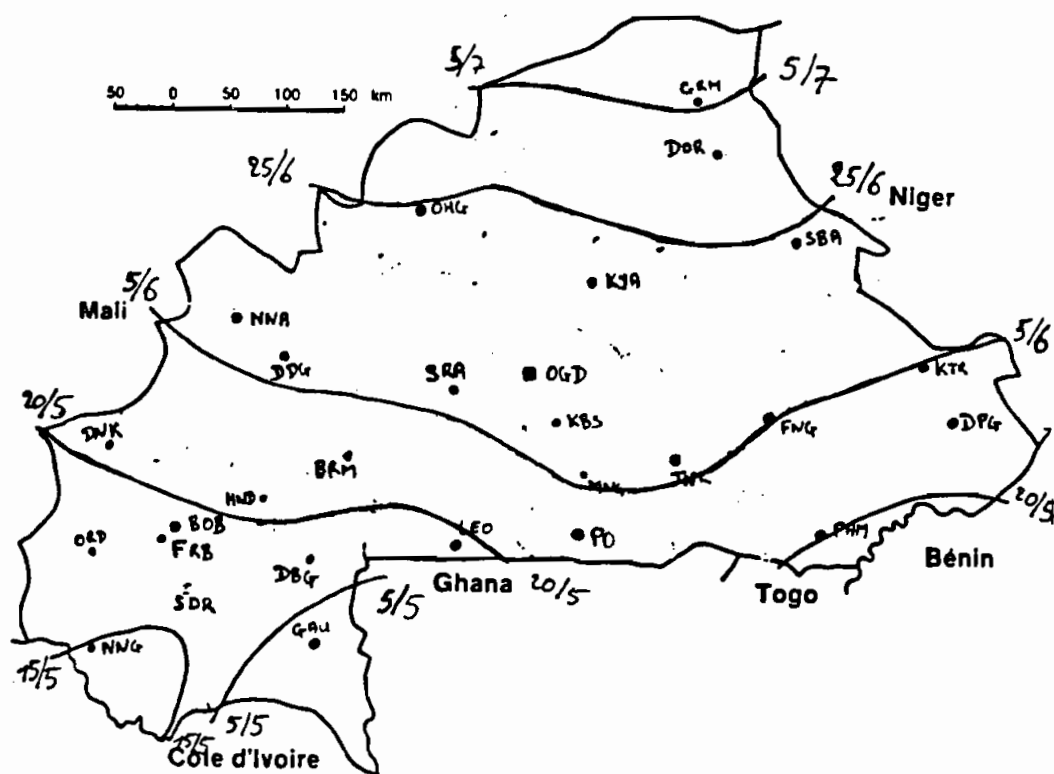
Période	$P_i + RS_{i-1}$ (1)	ETR_i/ETP_i (2)	ETR/ETP glissant
pentades les plus précoces de préparation du sol	< 20mm		>0,1
pentades de semis favorables du point de vue bilan hydrique		>0,5	>0,3
croissance et développement végétatif		>0,5	>0,5
pleine végétation reproduction			>0,8
remplissage maturation			>0,7(3)
fin de remplissage maturation			>0,4
fin d'hivernage utile		>0,06	>0,18
périodes déficitaires en pleine végétation reproduction		<0,80	
périodes déficitaires au remplissage maturation		<0,55	

(1) $P_i + RS_{i-1}$: pluie de la pentade considérée + réserve en eau utile de la pentade précédente.

(2) indice de satisfaction de la demande évaporative au cours de la pentade considérée.

(3) sur deux pentades successives et jamais avant le 20 Août.

Tableau 11-7: Seuils de passage d'une phase à une autre utilisés par le modèle BHYZON.



Carte n° 11: Carte simplifiée du début des dates favorables aux semis (OUATTARA et al., 1982).

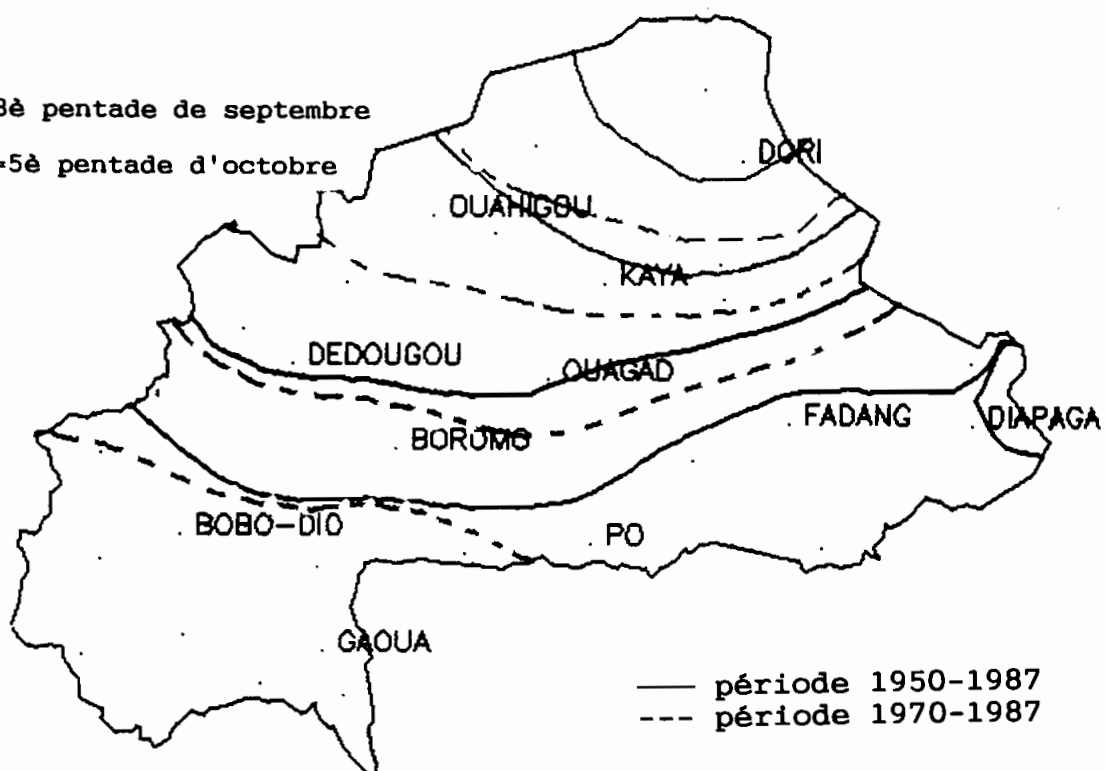
4.3.2. Fin de l'hivernage et durée optimale du cycle de culture.

Une fois les cultures installées, la grande question qui se pose chaque année est de savoir si les pluies se poursuivront jusqu'à leur maturation. Il est donc important de savoir quand finit, le plus souvent, l'hivernage utile, c'est-à-dire la période où l'on peut espérer obtenir une pluviométrie et une humidité du sol permettant d'avoir un indice ETR/ETP supérieur ou égal à 0,06 d'après le modèle.

La fin de l'hivernage utile survient beaucoup plus tôt dans le pays durant la période de "sécheresse" que dans la série 1950-1987 (carte n° 12). Ce qui a évidemment raccourci la durée optimale du cycle de culture (carte n° 13). Même dans le sud-ouest, il devient hasardeux de planter des variétés de culture à cycle long (>130 jours). Le Plateau Central est la zone de prédilection des variétés de 90 à 110 jours. Les variétés traditionnelles n'y sont plus tellement adaptées. Leur photopériodisme leur permet en fait d'éviter la "catastrophe".

n° pentade

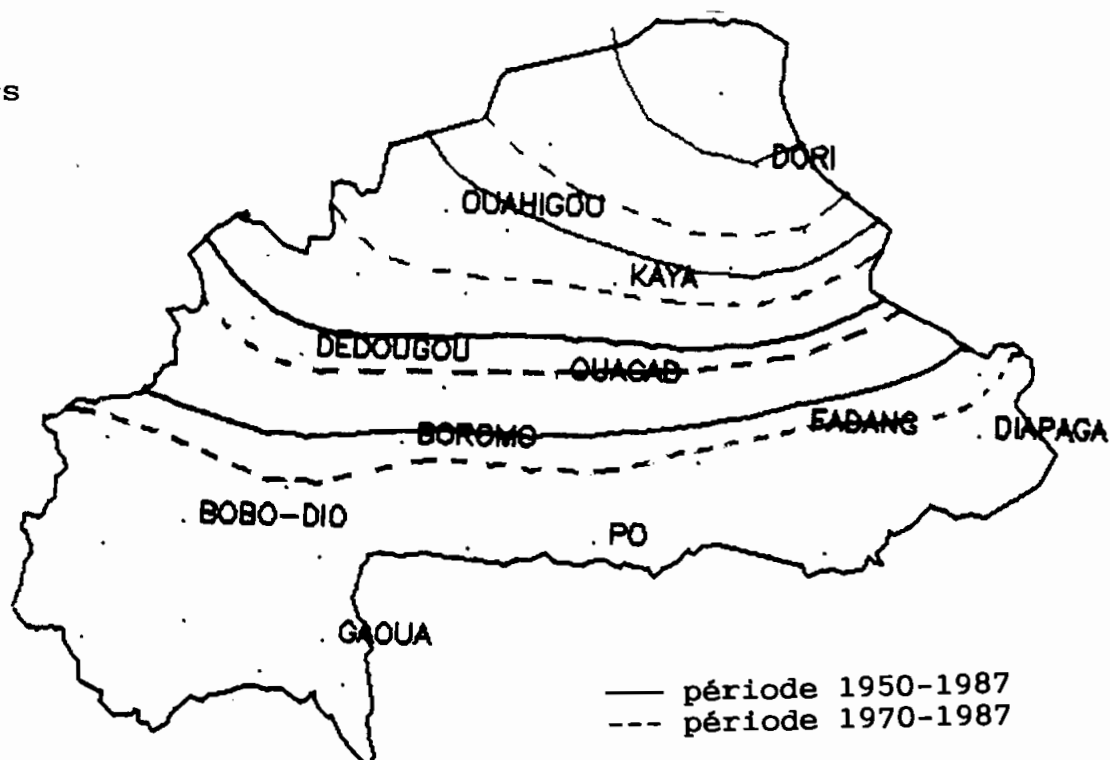
- | | | |
|---|------|----------------------------|
| — | 59.0 | 51-3è pentade de septembre |
| — | 57.0 | 59-5è pentade d'octobre |
| — | 55.0 | |
| — | 53.0 | |
| — | 51.0 | |



Carte n° 12: Fin de l'hivernage utile observé,
fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm.

nombre de jours

- | | |
|---|-------|
| — | 130.0 |
| — | 110.0 |
| — | 90.0 |
| — | 70.0 |
| — | 50.0 |



Carte n° 13: Durée optimale du cycle de culture,
fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm.

4.3.3. En conclusion.

Cette breve étude sur les potentialités agro-climatiques du Burkina permet de faire les remarques et conclusions ci-après:

a. Les différentes lignes d'isovaleurs déterminées coïncident assez bien avec les valeurs obtenues par l'équipe agroclimatologie du Mali sur les séries 1950-1985 (prise pour la normale) et 1970-1985 (DIARRA et al, 1987). Il serait alors intéressant de reprendre cette étude de façon plus détaillée et dans un cadre plus large avec plusieurs pays de la sous-région.

b. Les zones d'isopotentialités agro-pédoclimatiques ne sont pas tout à fait identiques à celles précédemment proposées par d'autres auteurs et basées soit sur des critères purement climatiques ou phytogéographiques.

c. La période de sécheresse se manifeste par un faible retard sur le début des pluies, mais par contre, on a un retard plus important dans l'occurrence de la date de semis favorable. On note aussi un arrêt plus précoce de l'hivernage utile, qui entraîne, de ce fait, une réduction croissante avec la latitude, de la durée optimale du cycle de culture.

d. L'effet de la réserve utile (RU) est notable, d'où la nécessité de l'améliorer par les techniques culturales. Cependant, il a été montré dans l'étude du Mali que cet effet s'atténue puis disparaît vers le nord où les pluies moins abondantes ne peuvent plus assurer le remplissage du réservoir sol. Une RU de 150 mm/m ne joue plus aucun rôle pour une pluviosité inférieure à 600 mm, et celle de 100mm/m pour une pluviosité inférieure à 400 mm (DIARRA et al, op cité).

e. Le zonage de base sera précisé pour le sorgho, le mil et le maïs (2ème partie, chapitre III).

CONCLUSIONS SUR LE MILIEU PHYSIQUE.

Les expérimentations sur les techniques permettant d'améliorer le bilan hydrique des cultures ont eu pour cadre physique un milieu à risque pédoclimatique élevé pour la production végétale. D'une part, les sols présentent d'importantes contraintes liées à leur fertilité chimique faible et leur réserve en eau limitée; et d'autre part, les facteurs pluviométriques caractérisés par une grande variabilité spatio-temporelle, n'offrent pas toujours les conditions requises pour une bonne productivité de l'agriculture.

Depuis deux décennies, on enregistre une baisse sensible des pluviosités annuelles. Cet état de sécheresse qui sévit dans toute la savane au sud du Sahara, et même dans la zone Guinéenne, échappe actuellement à toutes les prévisions des spécialistes. Cependant, on peut remarquer qu'à l'échelle du siècle, la caractérisation de cet état par des séries chronologiques des pluviosités annuelles ne permet pas de conclure à l'existence d'une "tendance" au dessèchement (ELDIN, 1984). Ce qui d'un côté est rassurant, mais aussi rend très aléatoires les solutions adaptatives éventuelles.

Plusieurs innovations techniques ont déjà été proposées par la recherche et la vulgarisation sans aucun résultat spectaculaire. Le second chapitre, à travers une analyse succincte de ces innovations techniques recommandées et de l'évolution des rendements et des productions du sorgho, mil et maïs dans ces dernières années, permettra alors de situer notre contribution dans les nombreux efforts déjà déployés par la recherche dans le pays.

CHAPITRE II:

EVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES PRODUCTIONS EN SORGHO, MIL ET MAÏS (PERIODE 1960-1987) ET PRESENTATION SUCCINCTE DES INNOVATIONS TECHNIQUES DEJA PROPOSEES PAR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LEUR AMELIORATION.

1. PRESENTATION DES DONNEES STATISTIQUES DES PRODUCTIONS DES PRINCIPALES CEREALES DU PAYS ET DE LEUR EVOLUTION.

Introduction.

Il est généralement difficile de disposer de données précises concernant les statistiques agricoles en Afrique. Quand elles existent, elles sont souvent incomplètes, et dans la plupart des cas, leur fiabilité n'est pas garantie.

En effet, selon la source des données, les valeurs peuvent varier du simple au double dans les mêmes circonstances de lieu et de temps (PIERI, 1989, p.85). C'est ce que nous avons constaté en étudiant les données du Burkina. Nous avons choisi de ne présenter que les données du Service des Statistiques Agricoles du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (MAE). Elles proviennent, en fait, des estimations annuelles réalisées par les services techniques des anciens Organismes Régionaux de Développement (ORD) aujourd'hui supprimés et remplacés par les Centres Régionaux de Promotion Agro-pastorale (CRPA), ce qui s'est parfois traduit par des modifications du découpage territorial.

1.1. Evolution des superficies cultivées en sorgho, mil et maïs.

Au cours de la période de 1973/74 à 1987/88, les superficies annuellement consacrées aux sorgho, mil et maïs ont progressé assez régulièrement de 1,8 millions à 2,5 millions d'hectares, avec une valeur exceptionnelle en 1986 (figure 12-1). Cette dernière valeur s'explique d'une part par la pluviosité exceptionnellement bonne enregistrée en 1986, mais aussi par le fait que les pouvoirs publics avaient lancé cette année-là un "mot d'ordre de deux millions de tonnes de céréales" à atteindre dans la production.

En générale, plus de la moitié de la superficie totale est réservée au sorgho. En zone sud-soudanienne, on consacre en moyenne une superficie égale en mil et maïs, comme le montre l'exemple de l'ex-ORD des Hauts-Bassins (Bobo Dioulasso) dans la figure 12-2.

En zone nord-soudanienne, les superficies de maïs sont très réduites par rapport à celles cultivées en sorgho et en mil. Par contre, ces deux dernières spéculations occupent environ la même superficie comme le montre la figure 12-3 pour le cas de l'ex-ORD du centre (Ouagadougou).

Dans la zone sahélienne, on ne cultive pratiquement pas de maïs actuellement. La figure 12-4 de l'ancien ORD du Yatenga (Ouahigouya) montre que les superficies emblavées subissent des variations interannuelles plus importantes qu'au sud, et ne laissent apparaître aucune tendance à l'augmentation, du fait sans doute du manque d'espace cultivable (BILLAZ, 1982; MARCHAL, 1983; DUGUE M.J., 1986). Les variations sont en général corrélées avec la pluviosité, et notamment aux pluies en début de saison.

Dans les localités plus septentrionales de cette zone, les superficies en sorgho représentent moins de la moitié de celles cultivées en mil. C'est le cas dans l'ancien ORD du Sahel (Dori) (MAE, 1988).

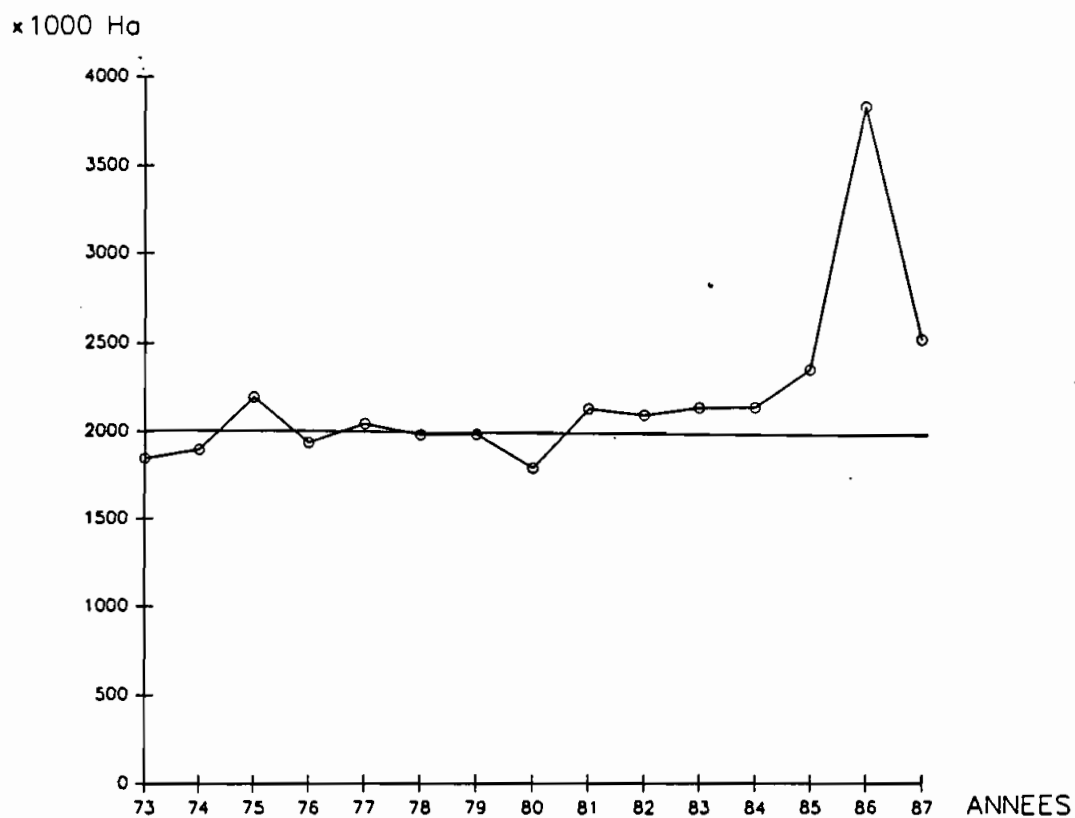


Figure 12-1 : Estimation de la superficie totale du pays cultivée en sorgho, mil et maïs (données M.A.E.).

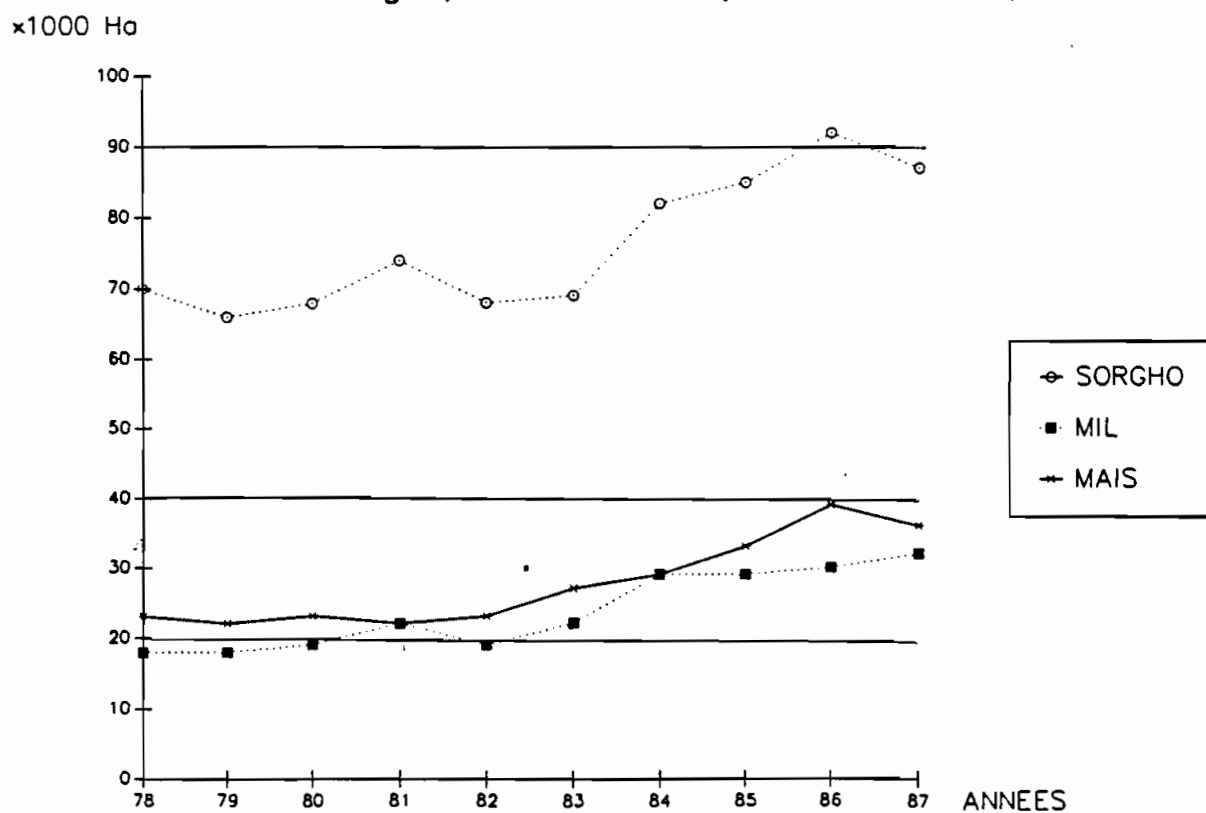


Figure 12-2 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD des Hauts Bassins (données M.A.E.).

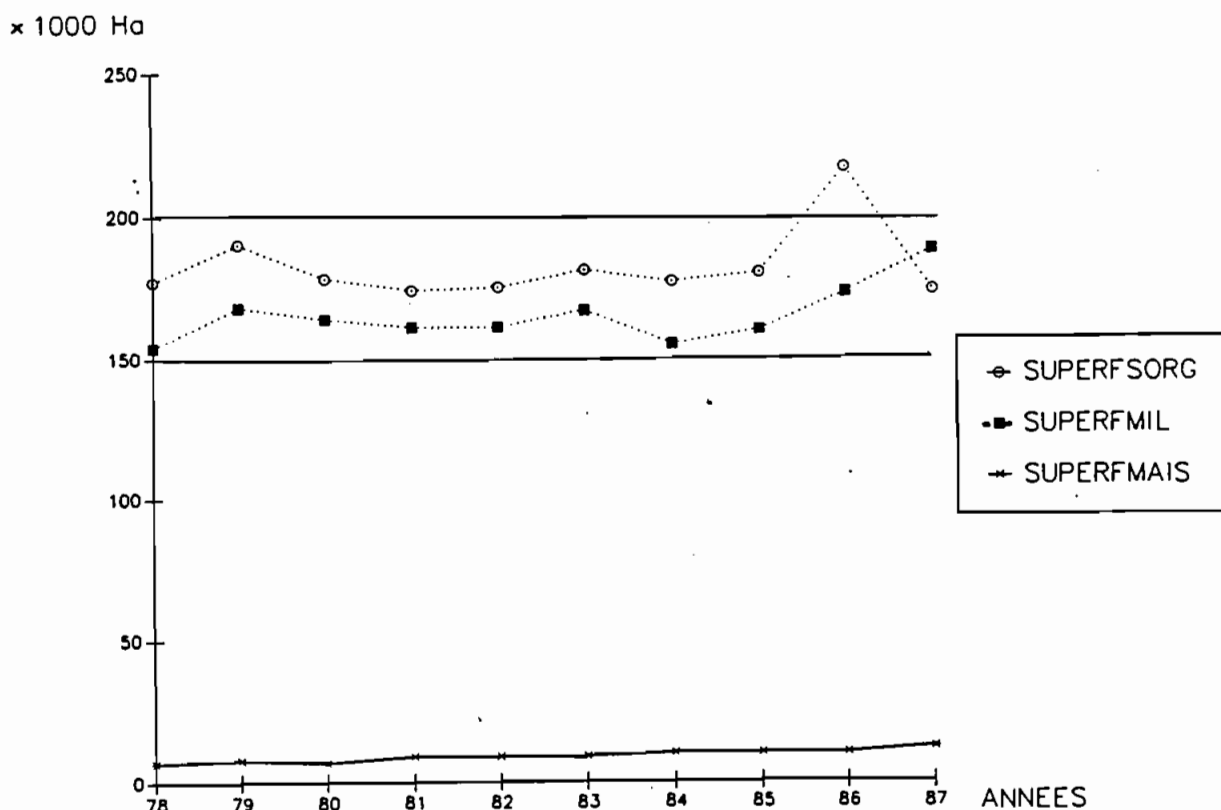


Figure 12-3 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD du Centre (données M.A.E.).

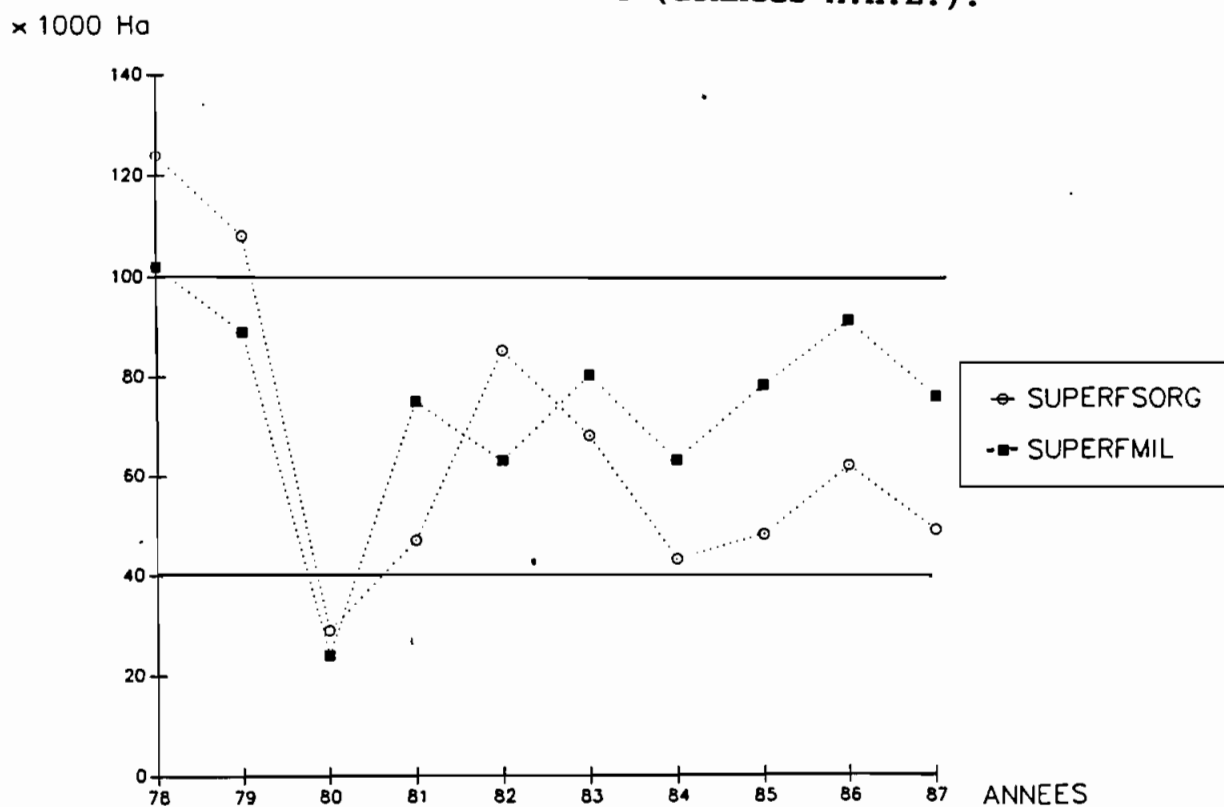


Figure 12-4 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD du Yatenga (données M.A.E.).

1.2. Evolution dans le temps des rendements des trois principales céréales cultivées dans le pays.

Les rendements estimés pour une même spéculatation diminuent globalement en allant du sud-ouest au nord du pays. Ils sont fonction des isohyètes annuels moyens (annexe 3).

1.2.1. Les rendements estimés dans la zone sud-soudanienne.

Dans la zone sud-soudanienne, les rendements en sorgho, mil et maïs paraissent plutôt stables si l'on se réfère aux estimations du Ministère de l'Agriculture (figure 12-5). Les rendements estimés sont plus élevés dans le CRPA des Hauts Bassins (Bobo-Dioulasso) que dans ceux de la Comoé (Banfora) et de la Bougouriba (Diébougou), qui sont pourtant aussi bien arrosés. Peut-être faut il y voir l'impact positif de la culture cotonnière plus développée dans le CRPA de Bobo-Dioulasso (BELEM, 1985). En effet, en zone cotonnière, les paysans sont en général mieux encadrés, et les céréales, après une année de coton, bénéficient des restes de la fertilisation destinée au cotonnier.

La figure 12-5 montre que les rendements moyens des trois céréales dans l'ex-ORD des Hauts Bassins sont plutôt faibles si on les compare au potentiel moyen de production des variétés améliorées que la recherche recommande à la vulgarisation (chapitre II, paragraphe 2.1.). Ainsi, les rendements du maïs estimés sur l'ensemble du CRPA sont à peine supérieurs à ceux obtenus sur la parcelle témoin de l'essai Entretien de la Fertilité de la station de Farako-Ba, qui depuis 1981 a reçu une culture continue de maïs sans aucune fertilisation (témoin A de la figure 12-6). On peut penser que si les innovations techniques recommandées avaient été effectivement adoptées par les paysans, les rendements pourraient atteindre ceux du traitement "F.O.B" de cet essai!

Kg/Ha

59

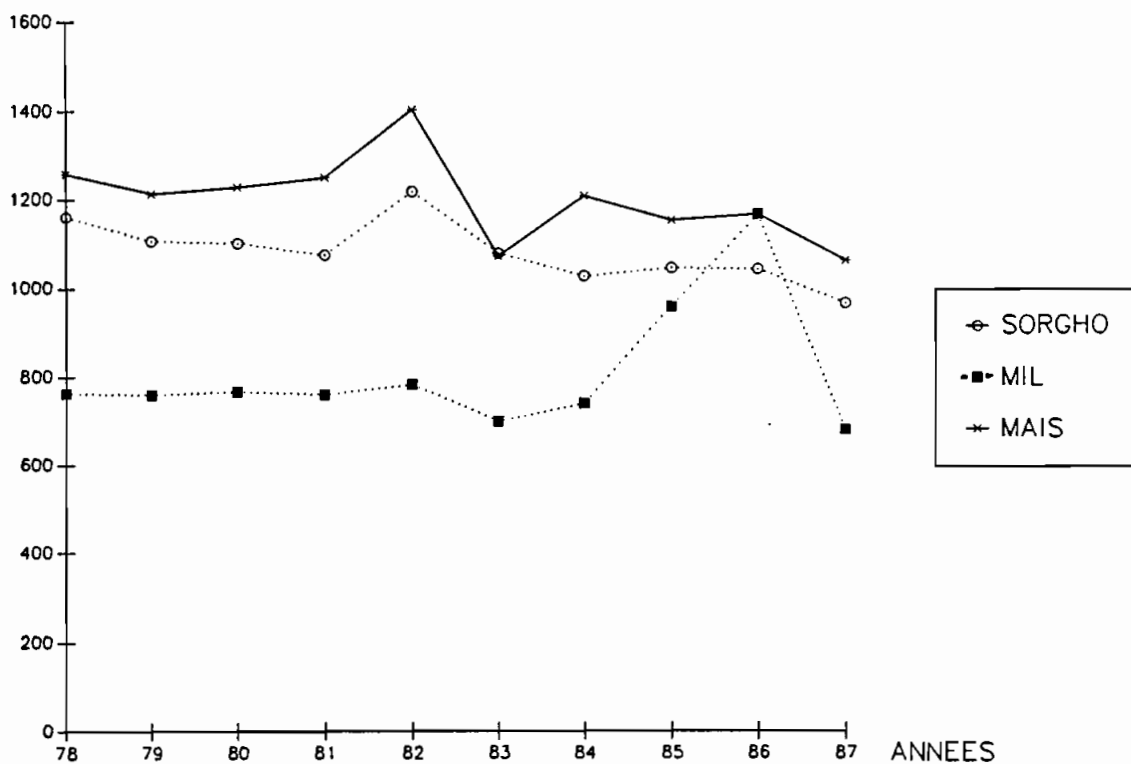


Figure 12-5 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD des Hauts-Bassins (données M.A.E.).

TEMOIN-A: aucune fertilisation.

TEMOIN-B: 571 kg/ha de phosphate naturel chaque année.

FO-B: 5T/ha/2 ans de fumier + 571 kg/ha/an phosphate naturel.

FM-B: fumure vulgarisée du maïs + 5T/ha/2 ans de fumier + 571 kg/ha phosphate naturel.

Le phosphate naturel contient 25% P et 35% CaO.

Kg/Ha

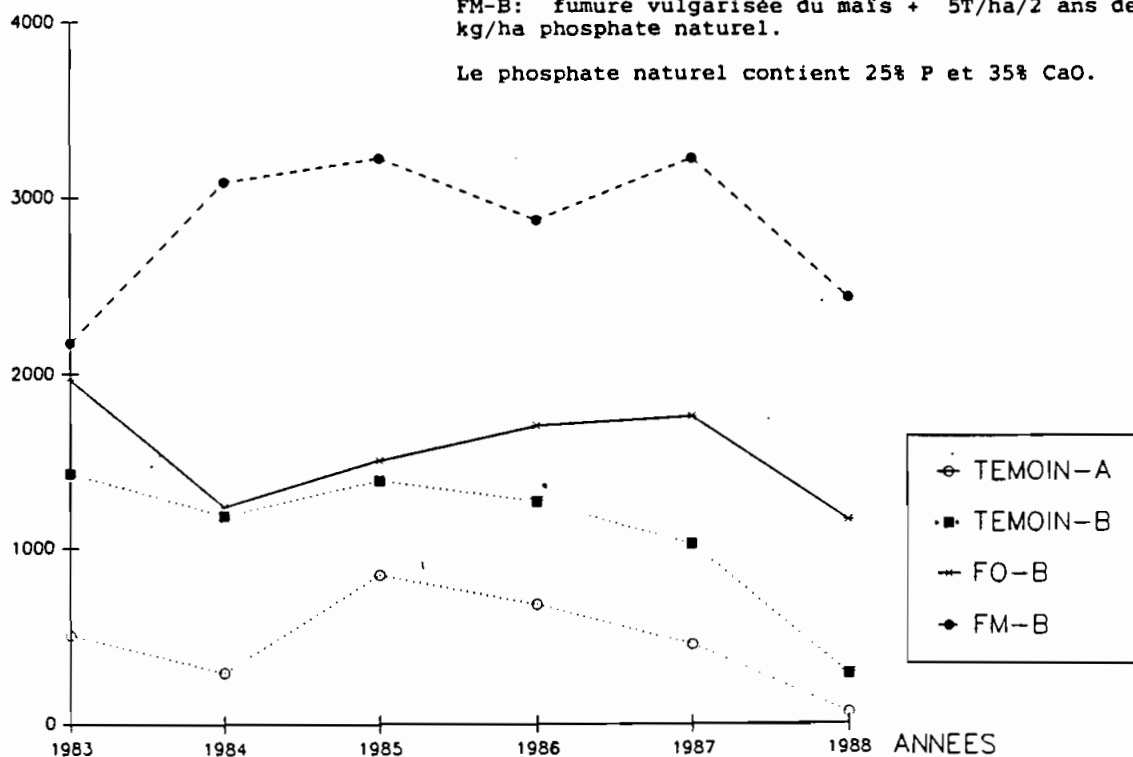


Figure 12-6 : Rendements mesurés dans les parcelles en culture continue de maïs de l'essai entretien de la fertilité de Farako-Ba (source SAMA, 1989).

Les rendements en sorgho de ce CRPA, les meilleurs du pays de façon générale, sont néanmoins très bas par rapport à ce que l'on peut produire en sorgho avec un peu d'intensification. En effet, même en zone nord-Soudanienne, avec moins de pluie, on obtient des rendements beaucoup plus élevés dans une culture continue de sorgho avec application de la fumure vulgarisée et de 5 tonnes/ha de fumier tous les deux ans dans le cas de l'essai Entretien de la Fertilité de Saria (figure 12-8, traitement fmo).

En ce qui concerne le mil, nous n'avons pas trouvé d'essai de longue durée permettant d'établir des comparaisons avec les rendements estimés dans la zone sud-soudanienne. Mais au vue des rendements obtenus généralement dans les essais, on se rend compte que l'on peut obtenir plus que les 800 kg/ha récoltés en moyenne dans le CRPA des Hauts Bassins, et ailleurs dans la zone sud-soudanienne.

1.2.2. Rendements estimés dans la zone nord-Soudanienne.

L'exemple de l'ex-ORD du centre (Ouagadougou) pris dans la zone nord-soudanienne montre que les rendements moyens des trois céréales sont à peu près équivalents et subissent de fortes variations interannuelles (figure 12-7). Les variations interannuelles des rendements moyens estimés dans la région reflètent bien celles observées en culture continue du sorgho de l'essai longue durée de Saria.

FOREST et LIDON, en 1982, ont mis en relation les fluctuations des productions de cet essai avec certains termes du bilan hydrique simulé, notamment l'indice de satisfaction de l'alimentation hydrique de la culture ETR/ETM aux phases critiques (épiaison et floraison) du sorgho, et les excès d'eau qui peuvent survenir à certains moments, entraînant d'importants phénomènes de drainage et de lixiviation.

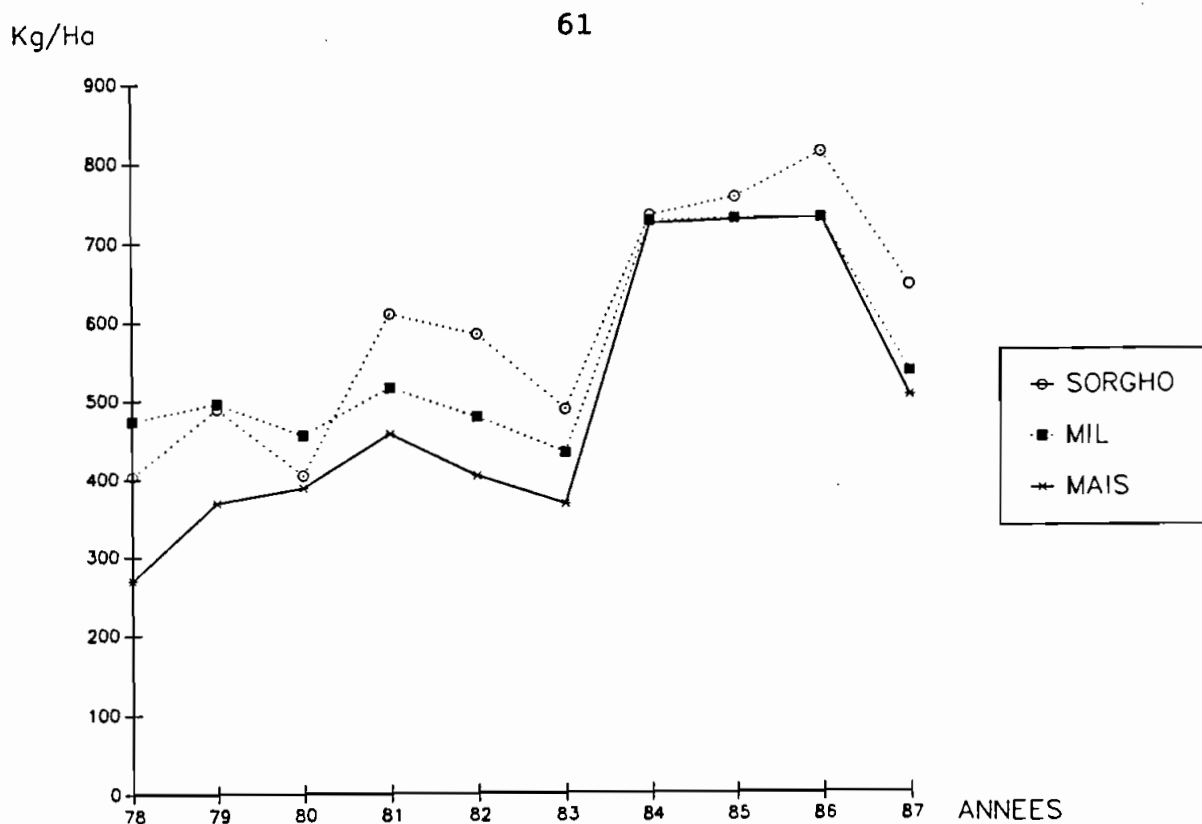


Figure 12-7 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD du Centre (données M.A.E.).

TEMOIN: aucune fertilisation depuis 1960.
 fm: fumure minérale vulgarisée du sorgho.
 fmo: fumure minérale + 5T/ha/2 ans de fumier.
 FMO: fumure minérale forte + 40T/ha/2 ans de fumier.

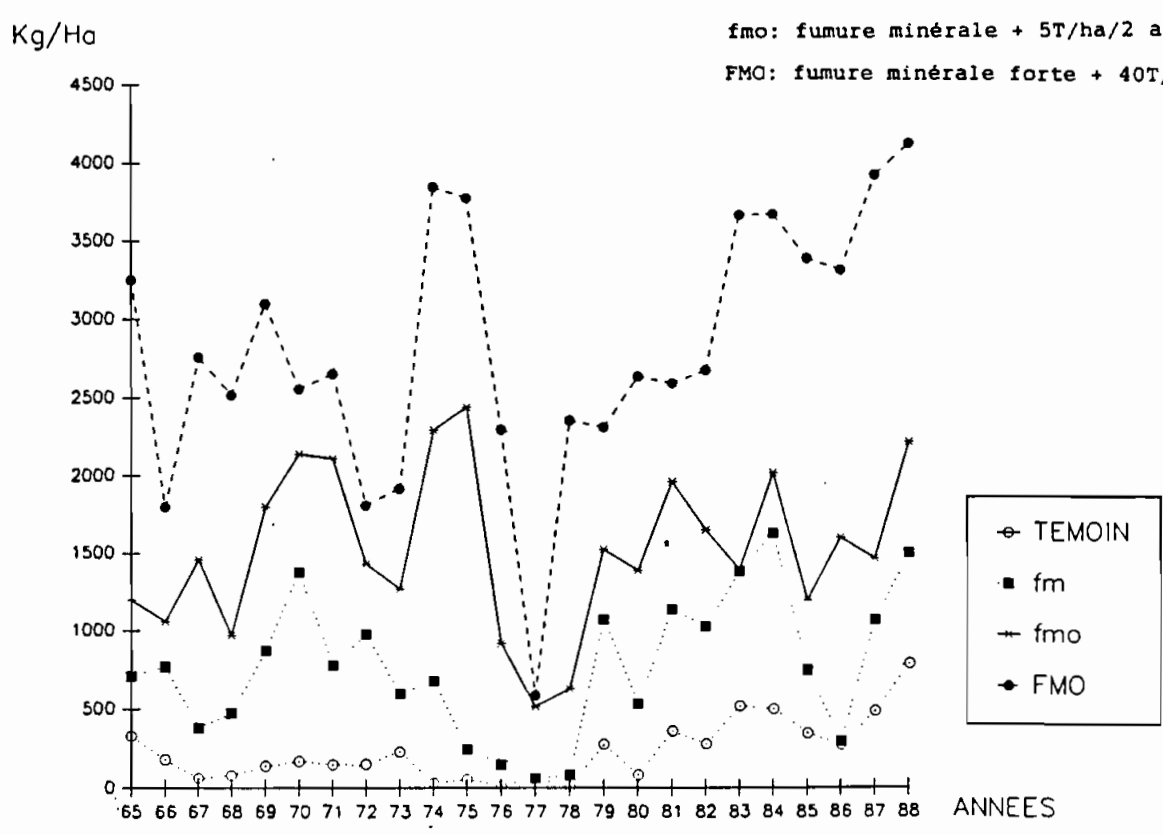


Figure 12-8 : Rendements mesurés dans les parcelles en culture continue de sorgho de l'essai entretien de la fertilité de Saria

L'évolution des rendements estimés dans la figure 12-7 montre une tendance à l'augmentation progressive de la productivité de ces cultures. Cela nous paraît peu probable dans la réalité, compte tenu des conditions réelles de production dans le Plateau Central. En effet, si l'on considère toujours l'exemple de l'essai de Saria (figure 12-8), on ne constate pas une tendance évidente à l'amélioration des rendements de chaque traitement malgré l'intensification que l'on y apporte (variété améliorée, labour au tracteur, fertilisation, etc...). Néanmoins, leur niveau de rendement respectif autorise un certain optimisme dans l'espoir d'améliorer un jour la productivité des terres agricoles grâce à un transfert effectif du savoir-faire de la station aux producteurs.

1.2.3. Rendements estimés dans la zone sahélienne.

On estime à 400 kg/ha les rendements du sorgho et du mil au sud de la zone sahélienne (au sud de la ligne Ouahigouya-Bogandé), et à 300 kg/ha dans le reste de la région.

Ces valeurs fournies par les CRPA semblent quelque peu surestimées si on les compare aux rendements mesurés dans les essais conduits dans la région (IRAT, 1983; DUGUE, 1982 à 1988; NICOU et al, 1984, 1985, 1987; VALENTIN et SERPANTIE, 1985). Il est important de remarquer, en prenant l'exemple de l'ex-ORD du Yatenga (figure 12-9) que les estimations annuelles ont une tendance à la baisse, ce qui pourrait traduire effectivement une certaine dégradation de la productivité des terres consécutivement à la dégradation du milieu écologique naturel (MILLEVILLE, 1984).

1.2.4. En conclusion.

Les rendements actuels des trois principales céréales cultivées dans le pays sont donc faibles et nettement inférieurs à leurs potentialités de production. Globalement stables dans la zone soudanienne, les rendements ont une tendance à la baisse dans le Sahel. Dans tous les cas, les rendements subissent de fortes fluctuations interannuelles liées essentiellement aux conditions d'alimentation hydrique des cultures.

Kg/Ha

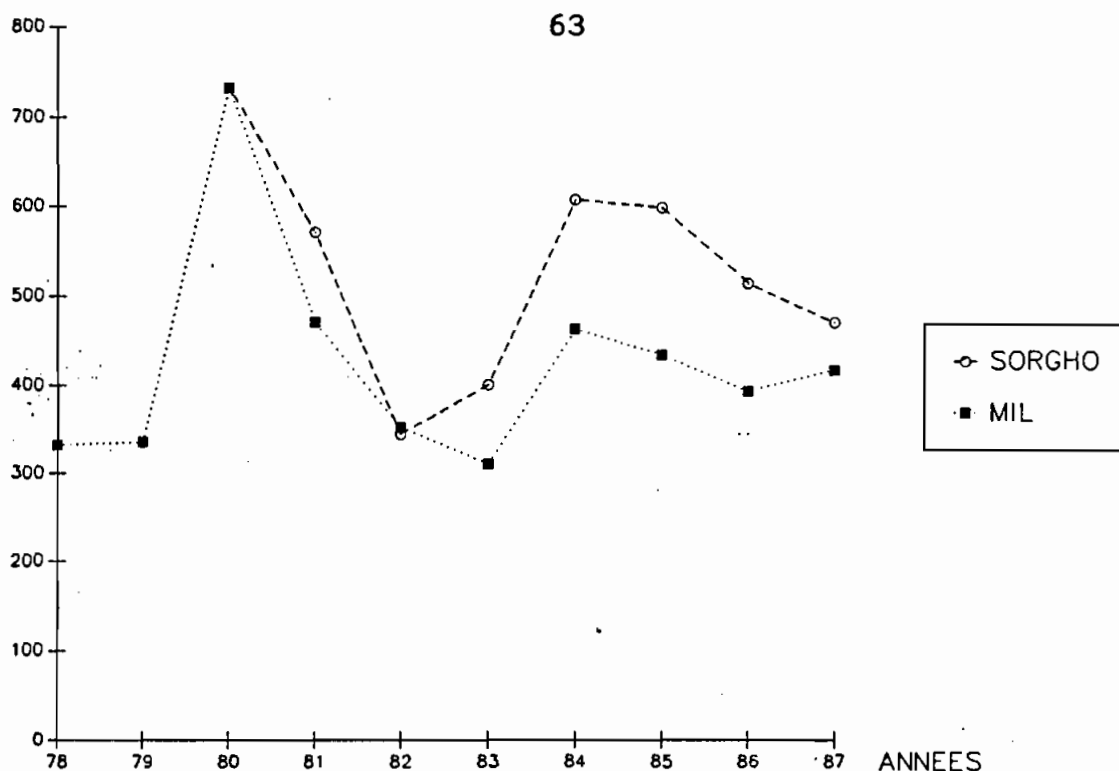


Figure 12-9 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD du Yatenga (données M.A.E.).

1.3. Evolution des productions.

Pour la période 1960-1987, on observe une augmentation progressive des productions en mil, sorgho et maïs dans l'ensemble du pays (figure 12-10). Cet accroissement est parallèle à celui des superficies cultivées, puisque les rendements estimés ne progressent pas. Au cours de la période considérée, les productions de ces trois spéculations dépassent les besoins totaux du pays en céréales à peu près 4 années sur 10. Cette fréquence devient inférieure à 2 années sur 10, si l'on considère la période 1970-1987 (figure 12-11).

Les productions des autres céréales cultivées (riz et fonio) étant pratiquement négligeables, il faut alors recourir aux importations pour couvrir les déficits céréaliers. Les productions en riz et fonio ont été respectivement estimées à 22000 tonnes et à 5 000 tonnes pour la campagne agricole 1987/1988. Les besoins en céréales ont été estimés selon les normes de la FAO, à savoir 190 kg/habitant/an. L'accroissement annuel de la population est estimé à 2,68% à partir de l'année 1973 par l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD, 1986).

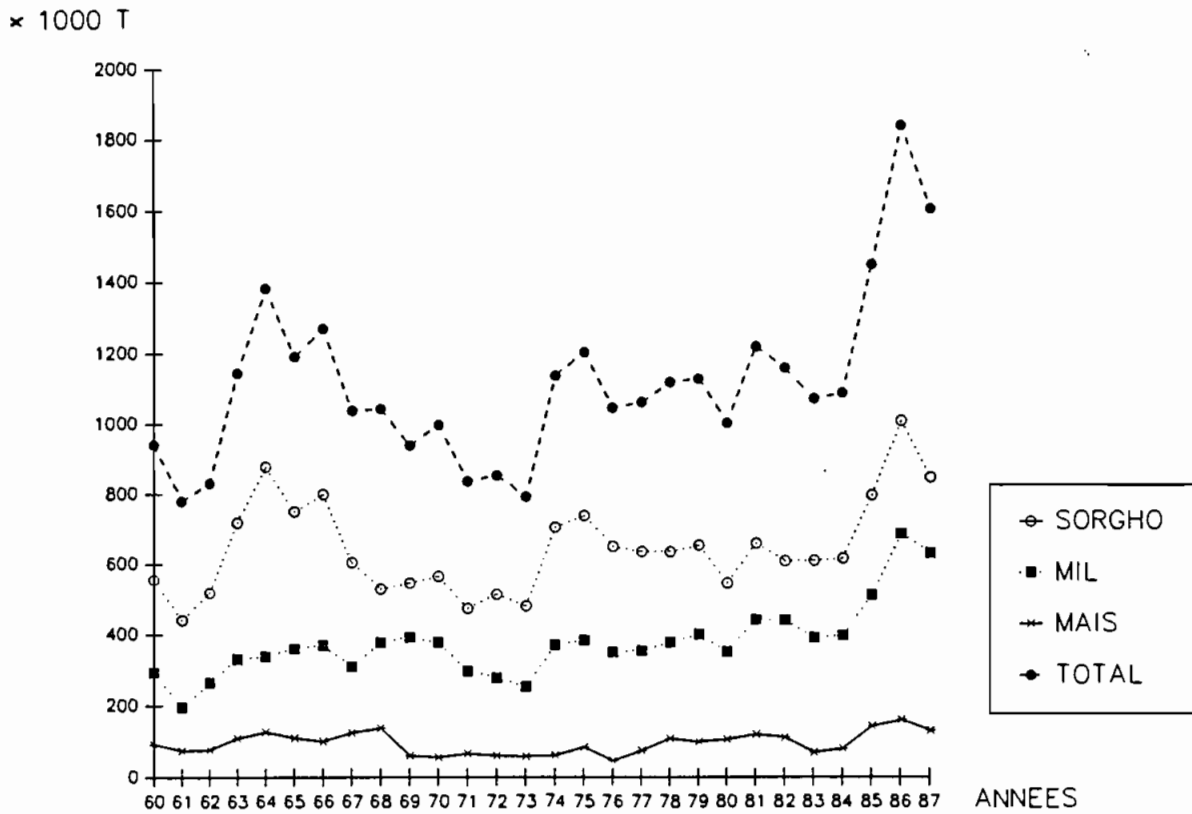


Figure 12-10 : Estimations des productions annuelles du pays (source INSD et M.A.E.).

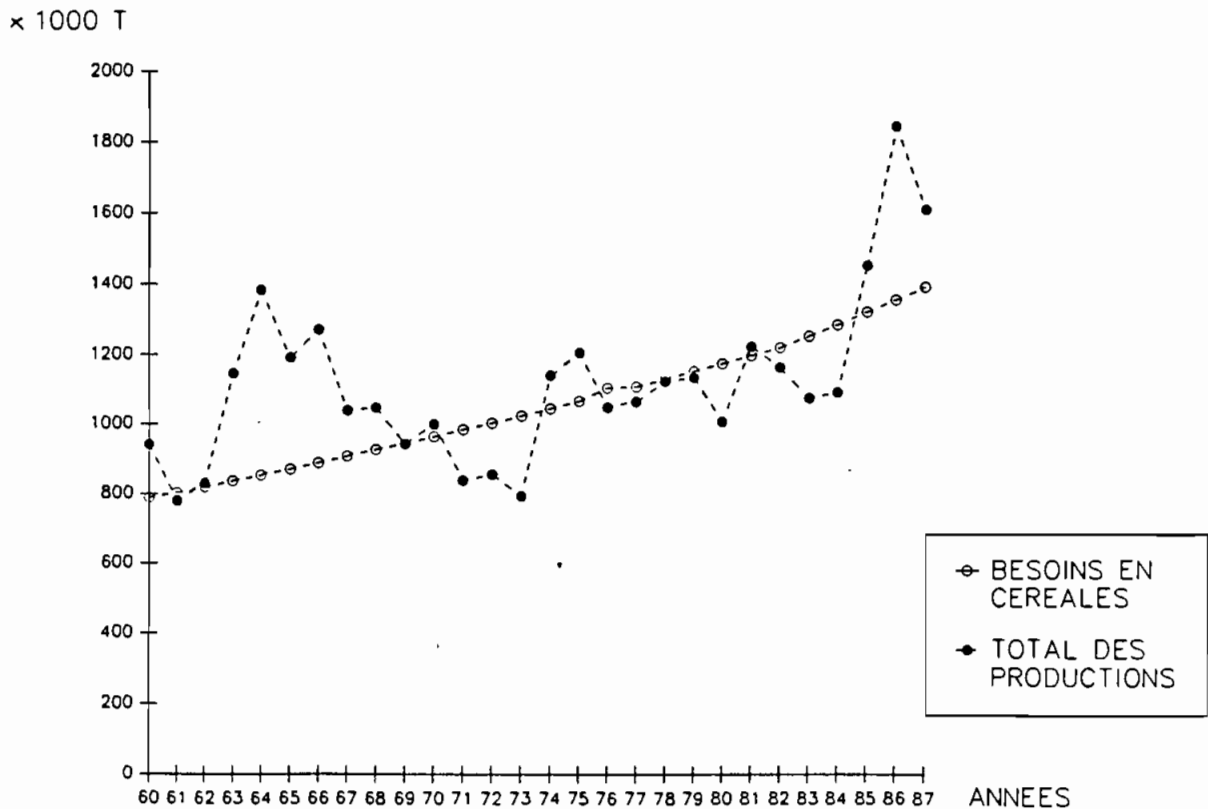


Figure 12-11 : Estimations des productions totales en sorgho, mil et maïs et des besoins en céréales du pays (source INSD et M.A.E.).

Les productions en sorgho concernent aussi bien le sorgho blanc que le sorgho rouge, qui est généralement utilisé pour la préparation du dolo (la bière traditionnelle). Il convient donc d'en tenir compte, pour avoir une idée plus précise de l'auto-suffisance du pays en céréales alimentaires. Malheureusement, il est actuellement pratiquement impossible de faire la distinction entre les deux groupes de sorgho dans les statistiques agricoles.

A signaler enfin les grandes disparités inter-régionales au niveau des productions, qui font que la zone sud-soudanienne et l'est sont généralement auto-suffisants, voire excédentaires, et la zone sahélienne plutôt déficitaire de façon quasiment chronique.

2. BREF APERCU SUR LES INNOVATIONS TECHNIQUES DEJA PROPOSEES A LA VULGARISATION PAR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE.

Introduction.

Au Burkina, comme dans tous les autres pays francophones de l'Afrique de l'Ouest, le début de la recherche remonte à la période coloniale. A leur installation avant l'indépendance du pays intervenue le 5 Août 1960, les instituts français de recherche, l'IRAT, l'IRCT et l'IRHO pour l'actuel CIRAD et l'ORSTOM ont alors remplacé les anciens services coloniaux.

Il existe donc au moins trois décennies de données. Un bilan a été effectué par PIERI en 1989, en ce qui concerne la fertilité des terres de savanes. Malheureusement, ces résultats de recherche n'ont pas toujours été mis à la disposition des gens au moment opportun pour être mis à profit sur le terrain.

Le milieu des années 1970 a marqué le début, dans le pays, de programmes régionaux de recherche conduits par les équipes de l'IITA et du SAFGRAD, et des programmes internationaux menés par l'ICRISAT.

Cela n'avait pas modifié la mise à disposition des résultats de la recherche au développement. On a en fait assisté à une certaine rivalité entre les instituts travaillant dans le même domaine, qui, sur le terrain, se matérialisait, entre autres, par le recommencement de l'étude de thèmes techniques considérés comme acquis et prêts à être transférés au développement. Cela a sans doute contribué à accroître l'incompréhension entre la recherche et le développement.

Il faut signaler aussi que les structures du monde rural chargées de vulgariser les innovations techniques n'ont jamais brillé par leur efficacité. Ce qui a justifié en partie leur réorganisation survenue récemment.

Il est vrai aussi que ces structures, et plus particulièrement les anciens Organismes Régionaux de Développement (ORD) n'ont pas toujours eu tous les moyens logistiques et humains nécessaires à leur action. Mais, dans tous les cas, l'inadaptation de leurs services de vulgarisation semble être la raison essentielle de leur inefficacité dans le transfert des technologies agricoles.

Ce n'est qu'à une date récente que la restructuration de la recherche agricole nationale et du système de vulgarisation a été entreprise, afin de les mettre en adéquation et de les rendre plus opérationnels.

Les lignes qui suivent donneront un aperçu succinct des innovations techniques déjà proposées à la vulgarisation, afin de situer "l'environnement scientifique national" de nos travaux.

2.1. Les variétés cultivées.

Nous nous limiterons aux cultures de sorgho, mil et maïs.

2.1.1. Les sorghos.

De nos jours, une bonne douzaine de variétés de sorgho blanc, présentant généralement les qualités organoleptiques recherchées par les consommateurs, ont été proposées à la vulgarisation. Ces variétés sont issues soit de matériels locaux, soit d'une introduction et adaptation de matériels étrangers.

Leur cycle semis-maturité varie de 90 jours pour des variétés comme IRAT 204 et SVP35, à 140 jours pour OUEDEZOURE et FRIKAN. Tous, de taille moyenne à haute (1,40 à 4,50 mètres), ces sorghos peuvent produire de 30 à 50 qx/ha (IRAT, 1982; INERA, 1986). Les cycles les plus courts sont proposés pour une pluviométrie moyenne annuelle de 450 à 600 mm, et les cycles plus longs conviennent au sud de l'isohyète 1000 mm. Les efforts de la sélection porte essentiellement sur la réduction de la durée du cycle de culture et de la taille des tiges au profit d'une amélioration de l'indice de récolte, et aussi, sur la réduction de la sensibilité de ces sorghos à la photopériode.

2.1.2. Les mils pennisetum.

A peu près le même nombre de variétés-populations de mil et de variétés de sorgho ont été proposées à la vulgarisation (IRAT, 1982). On retiendra que leur cycle semis-maturité va de 90 jours (SRM DORI et IKMV 8201) à 130-140 jours pour SRMP5 et IKMP3. Les rendements potentiels de ces nouvelles variétés, issues d'une amélioration des populations locales et/ou des introductions, ne dépassent pas 20 qx/ha. Tout comme les populations locales, ces nouvelles populations vulgarisables sont presque toutes photopériodiques. Elles présentent cependant une meilleure résistance au mildiou et une meilleure tolérance à la sécheresse que les populations locales strictes.

2.1.3. Les maïs.

Le maïs est, au niveau national, une culture privilégiée dans l'effort de sélection. En effet, dans les onze variétés proposées à la vulgarisation et inscrites au catalogue des variétés du Réseau Maïs de la CORAF, deux hybrides peuvent produire (en conditions irriguées en général), de 80 à 115 qx/ha. Leur cycle de 115 jours (semis-maturité) les rend cultivables en pluviales strictes (IRAT, 1982; Réseau Maïs, 1989). Les autres variétés recommandées ont un cycle de 90 à 110 jours. Leurs aires de production sont limitées au nord par l'isohyète 600 mm pour les variétés "Jaune Flint de Saria" et "Jaune Flint de Fo", et par l'isohyète 1200 mm au sud pour les autres variétés.

Le potentiel de production du maïs est beaucoup plus élevé que celui des deux autres spéculations et varie de 19 à 80 qx/ha. Les variétés sélectionnées sont cependant encore sensibles à des maladies comme la rouille et l'helminthosporiose, mais aussi aux viroses telles que le "streak".

2.1.4. En conclusion.

La plupart des variétés améliorées recommandées par la recherche n'ont pas encore été adoptées par les agriculteurs. Seul le maïs connaît quelques succès dans certaines localités, tandis que certains cultivars de sorgho (E35-1 par exemple) commencent à être testés en "champ de case" par les paysans.

Le moins que l'on puisse dire, actuellement par rapport au zonage de base, c'est que les durées des cycles de culture de ces variétés nouvelles sont souvent dans chaque zone agroclimatique, à la limite du cycle optimal de culture attendu 8 années sur 10. Cela compromet leur adoption par les paysans, puisque les variétés améliorées ont en plus par rapport aux variétés locales des exigences d'intensification qui ne sont généralement pas appliquées.

Dans ces conditions, l'agriculteur préférera garder ses variétés traditionnelles qui apparaissent plus stables.

2.2. Les techniques culturales.

2.2.1. Recommandations proposées en fertilisation des cultures.

En ce qui concerne le sorgho, le mil, le maïs et d'autres cultures habituellement pratiquées dans le pays, la recherche a déjà proposé des fiches techniques précisant les conditions d'une fertilisation rentable. Ces fiches sont régulièrement mises à jour, au vue des résultats apportés par les programmes de recherche en cours. C'est ainsi qu'il a été recommandé en fumure vulgarisée:

- pour le mil et le sorgho:

au semis: 100 kg/ha d'un engrais minéral complexe, dit "Engrais Coton", qui correspond en nombre d'unités fertilisantes à 14N, 23P, 14K, 6S et 1B203. En début de montaison: on ajoute 50 kg/ha d'urée, soit 23 unités d'azote supplémentaires.

- pour le maïs:

au semis: 100 kg/ha d'Engrais Coton.

environ au trentième jour après la levée: 100 kg/ha d'urée.

Ces doses sont modifiées selon le système de culture, notamment dans une rotation où ces céréales sont précédées d'une culture de cotonnier fertilisée.

Pour réduire la carence majeure du sol en phosphore, il a été recommandé d'appliquer au moment de la préparation du sol 400 kg/ha de phosphate naturel (localement produit et appelé Burkinaphosphate, ce phosphate naturel a une teneur moyenne en P2O5 de 25%, avec cependant une solubilisation lente.), si possible avec un apport simultané de matière organique sous diverses formes (résidus culturaux, fumier, compost, etc...). On peut par la suite apporter 100 kg/ha de Burkinaphosphate chaque année, ou 200 kg/ha tous les deux ans. Quant à la fumure organique, les essais de longue durée montrent qu'un apport de 5 tonnes/ha tous les deux ans maintient la productivité du sol à long terme (PICHOT et al, 1981; SEDOGO, 1981).

Les recherches sont donc actuellement axées d'une part sur la valorisation des ressources locales (résidus de récolte, Burkinaphosphate, dolomie, etc...) et d'autre part, sur la mise au point de formules de fertilisation accessibles aux paysans et adaptées pour chaque spéculation à un système de culture et un environnement pédoclimatique donné. Cela pourrait alors permettre d'accroître le niveau des consommations en engrais qui est actuellement de 1,3 kg de NPK par hectare de superficie agricole (FAO, 1987).

2.2.2. Recommandations concernant les techniques de travail du sol et d'aménagement des parcelles.

Dans les stations de recherche du pays, on a mis un certain temps avant de s'intéresser aux techniques de travail du sol. A partir des années 1964-1965, des essais ont été effectués sur l'influence du travail du sol sur les rendements des cultures comme le sorgho ou le maïs. C'est du moins ce que révèlent les différents rapports publiés par la Direction des Services Agricoles entre 1960 et 1966.

Une synthèse bibliographique réalisée au début de notre programme d'expérimentation sur les techniques d'économie de l'eau à la parcelle de culture (SOME, 1982a) nous a permis de constater que les quelques essais conduits soit en station soit chez les agriculteurs, n'ont généralement pas eu de suite, la plupart du temps sans doute par manque de moyens! Ce qui n'a pas permis de faire des recommandations aussi précises qu'en fertilisation par exemple. En fait, dès l'introduction et les tentatives de vulgarisation de la culture attelée, on a cherché à vulgariser le labour beaucoup plus sur la base "d'idées reçues" que sur la base d'études précises menées dans les différentes conditions agro-pédoclimatiques et socio-économiques du pays.

Il est vrai, et nous allons le voir par la suite, que le labour à plat aux boeufs semble efficace dans la majorité des situations pédoclimatiques. Mais d'autres techniques de travail du sol peuvent le remplacer là où la pluviosité en début d'hivernage ne permet pas de le réaliser de façon correcte.

De même, on a eu tendance à préconiser partout les billons cloisonnés à partir des années 1980, suite à des résultats d'essai obtenus assez localement à la station de recherche de Kamboinsé près de Ouagadougou (IITA, 1982; ICRISAT, 1982). Mais cette technique n'est pas efficace dans toutes les situations (NICOU et al, 1987). On le verra dans la seconde partie.

C'est aussi sur la base de ce qui a marché ailleurs que les aménagements anti-érosifs du type diguettes en terre suivant plus ou moins les courbes de niveau, ont été réalisés dans certaines localités du pays. Ce n'est que plus tard que l'on s'est rendu compte de leur inadaptation dans certaines zones. C'est le cas notamment dans la région du Yatenga, au nord-ouest du pays, où les aménagements effectués dans le cadre des opérations de développement du GERES (1961-1963) puis du FDR (1976-1987) ont généralement tous disparu du fait d'un mauvais entretien (LIDON et DABIRE, 1980; MIETTON, 1981; SOME, 1982b; DUGUE, 1985, 1989).

Ces aménagements ont généralement été implantés sans réellement expliquer aux agriculteurs et aux éleveurs leur utilité. Les paysans sont beaucoup plus intéressés par les aménagements en cordons pierreux, qui sont donc poreux, préconisés par plusieurs ONG. Ceux-ci leur ont aussi appris à utiliser eux-mêmes un niveau à eau pour construire ce type d'aménagement beaucoup plus efficace que les diguettes en terre (BEDU, 1986; MIETTON, 1986), car celui-ci permet d'éviter les brèches dues aux débordements lors des grosses averses.

2.2.3. Les autres techniques recommandées pour le sorgho, le mil et le maïs.

Des recommandations ont été faites sur le traitement des semences, important pour lutter contre les nombreux prédateurs des semis.

Au semis traditionnel en poquets irréguliers, on a conseillé un semis en lignes perpendiculaires à la pente et à environ 3 à 4 cm de profondeur. On dépose dans chaque poquet 12 à 18 graines de mil et des quantités moins importantes pour le sorgho et le maïs. Les écartements sont de 0,80 m entre les lignes et de 0,40 m sur la ligne entre les poquets pour le sorgho et le maïs, et de 0,80 à 1 m entre les lignes et 0,80 à 1 m entre les poquets pour le mil selon la zone pédoclimatique.

Le semis doit être suivi moins de 15 jours après la levée d'un démariage à 2 ou 3 plants par poquet.

Ces recommandations vont à l'encontre des pratiques anti-aléatoires traditionnelles du paysan tel que le "ZAI" dans le Yatenga qui consiste à déposer de nombreuses graines dans un poquet de 30 cm de diamètre environ, et où l'on a préalablement mis une poignée de fumure organique. Il en est de même pour l'association de plusieurs cultures dans le même champ que l'on peut observer çà et là à travers le pays.

2.2.4. En conclusion.

Les recommandations concernant les techniques culturales sont moins pertinentes que celles portant sur les variétés. Certains thèmes ne font d'ailleurs pas l'unanimité entre les instituts de recherche. C'est le cas par exemple des densités de semis et des doses de fertilisation minérale. Il est vrai qu'en la matière, il n'y a rien de définitif. La recherche se poursuit.

3. CONCLUSION.

D'importants efforts ont été faits par la recherche pour mettre au point des technologies nouvelles permettant d'améliorer les productions agricoles au Burkina Faso. Une douzaine de variétés améliorées de sorgho, mil et maïs mises au point ont des potentiels de production plus élevés que les variétés traditionnelles. Elles ont été recommandées à la vulgarisation par la recherche depuis plusieurs années déjà. Des recommandations, peut-être moins pertinentes, ont été faites également en ce qui concerne les techniques culturales, notamment les modes de semis et la fertilisation des cultures.

Il manquait cependant jusqu'à maintenant des recommandations réellement applicables en matière de techniques d'amélioration de l'alimentation hydrique et de l'efficience de l'eau au niveau de la parcelle de culture. D'où découle la mise en place du programme de recherches adaptatives concernant les techniques d'économie de l'eau pour les principales cultures céréalières du pays, ce qui sera présenté dans la seconde partie du mémoire.

Il convient cependant de reconnaître que l'essentiel des technologies recommandées n'ont encore pas été adoptées par les agriculteurs. Les rendements des cultures sont donc restés stables ou en baisse selon la zone agroclimatique. Dans tous les cas, ils sont très faibles par rapport aux potentiels de production de ces spéculations.

Cette situation s'explique d'ailleurs par diverses autres raisons que les seules difficultés de transfert du savoir-faire des stations de recherche vers le milieu paysan. On peut citer, sans pouvoir être exhaustif:

- les très faibles niveaux de l'encadrement agricole, qui en 1979 était respectivement de l'ordre de 300 exploitations agricoles par encadreur de base dans les ORD de la zone sud-soudanienne, 650 exploitations en zone nord-soudanienne et de 2400 exploitations pour la zone sahélienne (d'après les données du M.A.E.). A la même époque, il n'y avait que 21 ingénieurs agronomes et 7 docteurs vétérinaires et ingénieurs d'élevage pour l'ensemble des 11 ORD (M.A.E., 1983, p.42 et 153). Un encadreur de base a, au plus, le niveau de la classe de quatrième des lycées et collèges, suivi d'un enseignement agricole de trois années dans une école spécialisée.

- l'équipement agricole des paysans qui est resté archaïque. Il se limite à la daba (houe traditionnelle) en dépit des efforts de vulgarisation de la culture attelée depuis plusieurs décennies. La séparation traditionnelle entre les éleveurs de gros bétail et les agriculteurs en est une raison essentielle.

- le système économique est resté longtemps peu incitatif à produire une plus grande quantité des cultures essentiellement auto-consommées comme le sorgho, le mil et le maïs: la commercialisation de ces produits est mal organisée, les prix sont peu incitatifs et il n'existe pas actuellement de possibilité de transformation industrielle de ces produits.

Tous ces facteurs font que les niveaux de production sont actuellement faibles, même si des possibilités d'accroissement existent, notamment dans le sud-ouest et l'est du pays. Il convient donc, dans l'optique d'atteindre de façon régulière l'auto-suffisance alimentaire, de poursuivre les efforts de recherche mais aussi de mettre en place un système de vulgarisation et d'encadrement réellement adapté aux besoins des producteurs.

L'effort du technicien ne pourra être réellement valorisé que si une politique adéquate de développement agricole est mise en place dans le pays.

DEUXIEME PARTIE :

ETUDE DU RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE ET EXPERIMENTATIONS SUR LES TECHNIQUES PERMETTANT L'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION EN EAU DES CULTURES DE SORGHO, MIL ET MAIS.

CHAPITRE III

**CARACTERISATION FREQUENTIELLE DU RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE DE
CHAQUE CULTURE.**

ESSAI DE ZONAGE AGROCLIMATIQUE PAR CEREALE.

CHAPITRE IV

LE CONTEXTE DE L'ETUDE EXPERIMENTALE.

CHAPITRE V

**TECHNIQUES D'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE DES CULTURES, BASEES
EXCLUSIVEMENT SUR LE TRAVAIL DU SOL EN HUMIDE ET A LA TRACTION
BOVINE.**

CHAPITRE VI

**DEUX AUTRES TECHNIQUES D'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE DES
CULTURES :**

L'IRRIGATION DE COMPLEMENT

LE TRAVAIL DU SOL EN SEC.

CHAPITRE III:

CARACTERISATION FREQUENTIELLE DU RISQUE DE DEFICIT HYDRIQUE DE CHAQUE CULTURE.

ESSAI DE ZONAGE AGROCLIMATIQUE PAR CEREALE.

INTRODUCTION

Le zonage de base nous a permis de caractériser les conditions actuelles de réalisation des cultures pluviales ; le zonage par céréale nous permettra de mieux préciser ces conditions dans le cas de chaque plante.

Il s'agit, en fait, à partir d'une part des valeurs fréquentielles des indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques de début d'épiaison et de pleine floraison et d'autre part des indices du rendement espéré, de préciser pour chaque zone agroclimatique, les périodes optimales de semis et les cycles de culture les mieux adaptés.

I METHODE.

La méthode est basée sur l'établissement selon un pas de cinq jours du bilan hydrique de la culture, du semis à la maturité. Le modèle de simulation du bilan hydrique (FOREST 1984) dérive de celui que nous avons utilisé précédemment pour le zonage des potentialités agro-pédoclimatiques ou "zonage de base".

La version préconisée pour le zonage par plante, (BIPZON) adaptée à la micro-informatique est dotée d'une analyse fréquentielle des valeurs à la sortie.

Ce logiciel nous a permis d'effectuer des simulations du bilan hydrique du sorgho et du mil pour 33 des 40 stations du pays étudiées pour le zonage de base. En ce qui concerne le maïs, on a retenu 30 stations en excluant celles situées dans l'extrême Nord du pays où cette plante n'est pratiquement plus cultivée.

L'étude a porté sur 17 années consécutives pendant la période 1970-1987.

1.1. Les variables d'entrés du modèle

A la différence du logiciel BHYZON précédemment utilisé pour le zonage de base, que ne permettait de saisir en entrées que la pluviométrie journalière, l'ETP et la réserve utile (RU), le logiciel BIPZON permet d'entrer un plus grand nombre de variables présentées dans le tableau 23-1.

Contraintes climatiques	Paramètres liés au sol	Paramètres liés à la plante	Contrainte temporelle
- pluviométrie journalière	- réserve utile racinaire (RU)	- durée du cycle	- période de semis (n° de la pentade correspondante)
- demande évaporative (EVA)	- seuil du ruissellement	- durée de chaque phase physiologique	- série d'années considérées
- "pluie de semis"	- coefficient moyen de ruissellement	- coefficients culturaux	

Tableau 23-1 : Variables d'entrées du modèle de simulation BIPZON

1.1.1. Les contraintes climatiques.

Les données d'évaporation du Bac Classe A sont disponibles dans toutes les stations synoptiques et agrométéorologiques du pays. Pour les autres stations, on utilise les données de la station équipée la plus proche.

On crée pour chaque station un fichier où sont saisies les valeurs moyennes décadaires de l'évaporation du Bac Classe A, calculées sur plusieurs années.

On n'a pas fixé de pluie de semis afin de démarrer chaque simulation effectivement à la date de semis choisie.

1.1.2. Les paramètres liés au sol.

Trois niveaux de RUR (50, 100, et 150 mm) sont considérés compte tenu d'une part des profondeurs d'enracinement observées dans quelques uns des sites d'expérimentation (fig 25-15), des profondeurs maximales que les racines de ces cultures ont pu atteindre en sol sableux (CHOPART 1980, 1983) et aussi des valeurs de la réserve utile du sol mesurée au laboratoire (annexe 2).

Le seuil et le coefficient moyen de ruissellement ont été fixés respectivement à 15 millimètres et à 35% pour l'ensemble du pays à l'exception des stations situées à l'extrême Nord où un coefficient moyen de 20% a été appliqué pour tenir compte de la nature plus sableuse des sols.

Les valeurs moyennes ont été retenues sur la base des données mesurées à SARIA et à GAMPELA sur un sol travaillé à la daba traditionnelle (CTFT, 1973, 1974, ROOSE et al 1979, NICOU et al 1984 à 1987).

Le modèle ne permet malheureusement pas de prendre en compte actuellement la diminution du taux de ruissellement généralement observé en fonction du développement du couvert végétal.

1.1.3. Les paramètres liés à la plante

Le modèle ne prend pas non plus en compte un indice de l'évolution spatio-temporelle de l'enracinement au cours du cycle de culture.

Chaque cycle de culture est divisé en quatre phases :

1ère phase : semis - fin de la montaison (notée IDV)

2ème phase : début épiaison à environ 50% de floraison pour le sorgho et le mil (notée FL1). En ce qui concerne le maïs c'est la floraison mâle

3ème phase : pleine floraison - début de la maturation. C'est la floraison femelle au niveau du maïs (notée FL2)

4ème phase : maturation-récolte (notée MATU).

Culture	cycle en jours	IDV	FL1	FL2	MATU
Sorgho	140	60	30	20	30
	125	45	30	20	30
	110	35	30	15	30
	90	30	20	15	25
Mil	120	45	30	15	30
	90	35	20	10	25
Maïs	130	60	20	20	30
	110	40	25	20	25
	90	30	20	15	25

Tableau 23-2 : Durée des 4 phases physiologiques de quelques variétés de sorgho, mil et maïs.

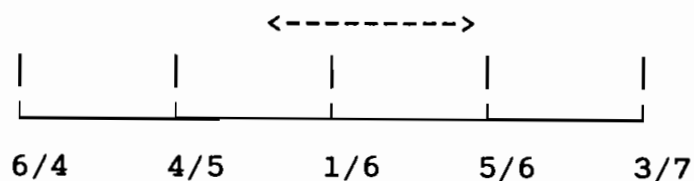
La durée de chaque phase est fonction de la longueur du cycle de la culture. la durée de la phase IDV est d'autant plus longue que le cycle de la culture est long.

La majorité des variétés cultivées étant photopériodiques, la durée des autres phases se réalise généralement dans un intervalle de temps de 5 à 10 jours.

Les coefficients culturaux K'C ont été calculés pour chaque site, à partir des régressions mises au point à l'IRAT (FRETEAUD et al 1984). Cependant, les valeurs les plus décalées ont été corrigées en tenant compte des données mesurées expérimentalement au BURKINA (NICOU et al 1984 à 1987) et ailleurs dans la zone Soudano-Sahélienne de l'Afrique de l'Ouest (CIEH/IRAT 1983).

1.1.4. Les dates de semis

Le zonage de base a déterminé au niveau de chaque zone agroclimatique les périodes les plus précoces où un semis peut être réussi 8/10 années. Ces périodes ont été retenues comme les dates les plus favorables pour les semis. Les autres dates prises en compte dans l'étude sont ci-dessous indiquées :

Zone Sud-SoudanienneZone Nord-Soudanienne

3/7 : 3ème
pentade
de juillet.

<---> périodes de
semis les plus
précoces
déterminées
par le zonage de
base.

Zone Sahélienne

n° des pentades
de semis.

Les premières dates de semis par rapport aux périodes favorables représentent les semis précoces habituellement réalisés par les paysans et les dernières dates, les semis tardifs qui sont systématiques quand les pluies tardent à s'installer.

1.2. Les variables calculées par le modèle.

Le fichier de sortie du modèle comporte les données suivantes, calculées à chaque phase physiologique du cycle de culture :

- ETR/ETM
- DR/RU (c'est le rapport entre le drainage (DR) et la réserve utile). Ce ratio traduit l'excès d'eau de la période qui s'infiltré au-delà du front d'enracinement. Cette eau est considérée perdue pour la culture car le modèle ne prend pas en compte d'éventuelles remontées capillaires.

Pour l'ensemble du cycle, le modèle calcule en plus la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) et le déficit d'alimentation hydrique (ETM-ETR).

A la fin de la série d'années sur lesquelles porte la simulation, le modèle calcule la moyenne de chacune de ces variables et donne leurs fréquences d'occurrence.

On estime que le niveau d'alimentation en eau de la culture est satisfaisante aux périodes critiques, quand on a $ETR/ETM \geq 0,8$.

1.3. Détermination des indices du rendement espéré de la culture.

Les études récentes de plusieurs équipes de chercheurs en agroclimatologie travaillant en Afrique de l'Ouest et notamment au Sénégal, Mali, Niger et Togo ont permis de proposer pour le sorgho, le mil et le maïs des formules sous forme de régressions linéaires entre les rendements et les termes du bilan hydrique (CORTIER et al 1988; POSS et al 1988 ; FOREST 1989).

Les courbes de réponse à l'alimentation hydrique ont été établies soit à partir de l'interprétation des essais agronomiques de longue durée, soit à partir des évaluations des productions dans les champs des agriculteurs.

Ces courbes sont toutes de la forme (tableau 23-3) :

$$\text{Rendement} = AX + B$$

A et B varient selon le site, l'espèce, le cycle et le niveau d'intensification de la culture.

Selon les conditions X peut représenter soit l'excès d'eau en millimètres (cas du maïs à SEFA au Sénégal) ; soit l'évapotranspiration réelle (ETR) au niveau du cycle de culture; soit un indice traduisant le risque climatique global de la culture.

Cet indice est défini soit par :

$$\text{ETR (cycle)} \times \frac{\text{ETR}}{\text{ETM}} \quad (\text{phase critique})$$

Soit par :

$$\frac{\text{ETR (cycle)}}{\text{ETM}} \times \frac{\text{ETR (phase critique)}}{\text{ETM}}$$

Dans ces deux cas, c'est la plus petite valeur de l'indice de satisfaction des besoins en eau des phases FL1 et FL2 qui est retenue, puisque c'est elle qui marque le plus le niveau du stress hydrique de la culture.

$$\text{Pour une valeur de } \text{ETR (cycle)} \times \frac{\text{ETR (pc)}}{\text{ETM}} = 100$$

on obtient une valeur négative du rendement du maïs selon la formule proposée pour le Mali. Cela signifie, en fait, que la culture ne pourra pas produire du grain, à cause de la sévérité du déficit hydrique.

$$\text{Pour une valeur } \text{ETR (cycle)} \times \frac{\text{ETR (pc)}}{\text{ETM}} = 600$$

le rendement est alors de 46 qx/ha.

Pays	Culture	Courbe de réponse à l'eau RDT = f (ETR...) en kg/ha	Coefficient R	n
MALI	Maïs 110 jrs	9,6 ETR (cycle) x ETR (pc) - 1150 ETM	0,92	37
	Maïs (zone coton)	43 ETR (cycle) x ETR (pc) - 500 ETM	0,75	
	Mil et sorgho	22 ETR (cycle) x ETR (pc) - 200 ETM ETM	0,72	
	Mil 90 jrs	16 ETR (cycle) + 296 ETM	0,80	49
	Sorgho (photo périodique)	4,22 ETR (cycle) - 610	0,85	57
SENEGAL	Mil	15 ETR (cycle) x ETR (pc) - 80 ETM ETM	0,75	
	Maïs (séfa)	4690 - 7,8 EXCES (mm)	0,83	12
	Maïs (Nimo du Rip)	77 ETR (cycle) x ETR (pc) - 1200 ETM ETM	0,93	8
NIGER	Mil	10 ETR (cycle) x ETR (pc) - 200	0,50	
TOGO	Maïs (sol non épuisé)	0,16 (ETR - 131)	0,86	20
	Maïs (sol épuisé)	0,10 (ETR - 100)	0,83	13

Tableau 23-3 : Comparaison des courbes de réponse à l'eau
proposées pour les principales cultures céréalières
en zone tropicale en Afrique de l'Ouest

Ces formules prouvent bien la part importante prise par la satisfaction des besoins hydriques dans les rendements des cultures pluviales de ces régions à risque climatique élevé.

Toutefois, les différences existant entre les formules proposées, traduisent la complexité du problème d'où la nécessité d'un travail en réseau au niveau des pays de la région afin d'obtenir des formules stabilisées pour des situations bien déterminées.

En attendant, il nous a paru plus judicieux, d'étudier, en fonction des différentes hypothèses (dates de semis, RUR, longueur du cycle etc ...), les variations d'un même indice représentatif du niveau du rendement qu'on peut espérer.

Nous avons alors retenu comme indice du rendement espéré IRESP, celui qui combine l'ETR totale du cycle avec la plus petite valeur du taux de satisfaction des besoins en eau de la culture, ETR/ETM aux phases FL1 ou FL2.

$$\text{IRESP} = \text{ETR (cycle)} \times \frac{\text{ETR (pc)}}{\text{ETM}}$$

En effet, il a été montré que les pertes de rendements en grain dues au stress hydrique et dans certains cas aux hautes températures sont plus sévères lorsque ces accidents climatiques surviennent à la période de l'épiaison-floraison ou au début du remplissage des grains (PASTERNAK et WILSON, 1969 ; SORIANO et GINZO, 1975 ; SIONIT et KRAMER, 1977 ; SANDHU et HORTON, 1977 ; GIPSON et al 1979, cités par WITT 1981).

Dans une étude menée au Togo, l'évolution des rendements en grains du maïs en fonction des coefficients de satisfaction en eau ETR/ETM (pc) semble être de type exponentiel (POSS et al 1988), tandis qu'une relation de type linéaire a été obtenue au Sénégal avec la même culture (CORTIER et al 1988).

II RESULTAT DU ZONAGE AGROPEDOCLIMATIQUE PAR CULTURE.

Nous avons retenu uniquement les valeurs calculées de ETR/ETM.

Les valeurs de DR/RU obtenues sont généralement trop faibles pour permettre une analyse fréquentielle significative.

L'analyse concernera uniquement la fréquence 8/10 années.

2.1. Zonage du sorgho

On a pris pour hypothèses de simulation, au niveau de chaque zone agroclimatique plusieurs variétés de sorgho représentées par leur durée de cycle semis-maturation.

- zone Sud-Soudanienne : 3 cultivars (140, 125 et 110 jours)
- zone Nord-Soudanienne : 3 cultivars (125, 110 et 90 jours)
- zone Sahélienne : 2 cultivars (110 et 90 jours)

2.1.1. Comportement du sorgho dans la zone sud-soudanienne

L'étude a été faite au niveau des stations de Bobo-Dioulasso, Niangoloko et Gaoua avec les 3 cultivars de sorgho et une réserve utile racinaire moyenne (RUR = 100 mm).

Ensuite, on a simulé le comportement du sorgho de 125 jours au niveau de l'ensemble des stations de la zone selon les différentes hypothèses de dates de semis et de réserve utile racinaire du sol.

a. Satisfaction des besoins en eau du sorgho en zone sud-soudanienne

Les figures 23-1 à 23-6 présentent les valeurs atteintes 8/10 années à la période critique (FL1 et FL2) des indices de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) du sorgho en fonction de la date de semis.

On peut faire les remarques suivantes en ce qui concerne les 3 stations étudiées :

- Un semis précoce (avant le 20 mai) souffre, quel que soit le cycle de culture d'un déficit d'alimentation hydrique important au cours de la période critique (soit en FL1, soit en FL2).

- Les variétés à cycle long (ex : 140 jours) doivent être semées impérativement autour de la première pentade de Juin (1/6) pour que leurs besoins en eau soient satisfaits au moins à 80 % durant la période critique. Ce qui donne un intervalle de dates de semis favorables limité à quelques semaines. Cela est court eu égard à la nature erratique de la pluviosité.

- Les variétés à cycle intermédiaire (125 et 110 jours) doivent être semées durant le mois de Juin.

- Les semis tardifs, réalisés après la fin de Juin sont à déconseiller pour ces variétés car la culture subit 8/10 années un déficit hydrique d'autant plus sévère que le cycle est plus long.

b. Indices du rendement espéré du sorgho

Il apparaît (Fig. 23-7 à 23-9 et tableau 23-4) que le niveau de rendement espéré 8/10 années est d'autant plus élevé que le cycle de culture est plus long, à condition de respecter les dates favorables de semis. Mais quand les semis sont retardés il est préférable de remplacer les cycles longs de 140 jours par les cycles moyens (125 jours) qui assurent un niveau de rendement plus stable.

ETR/ETM

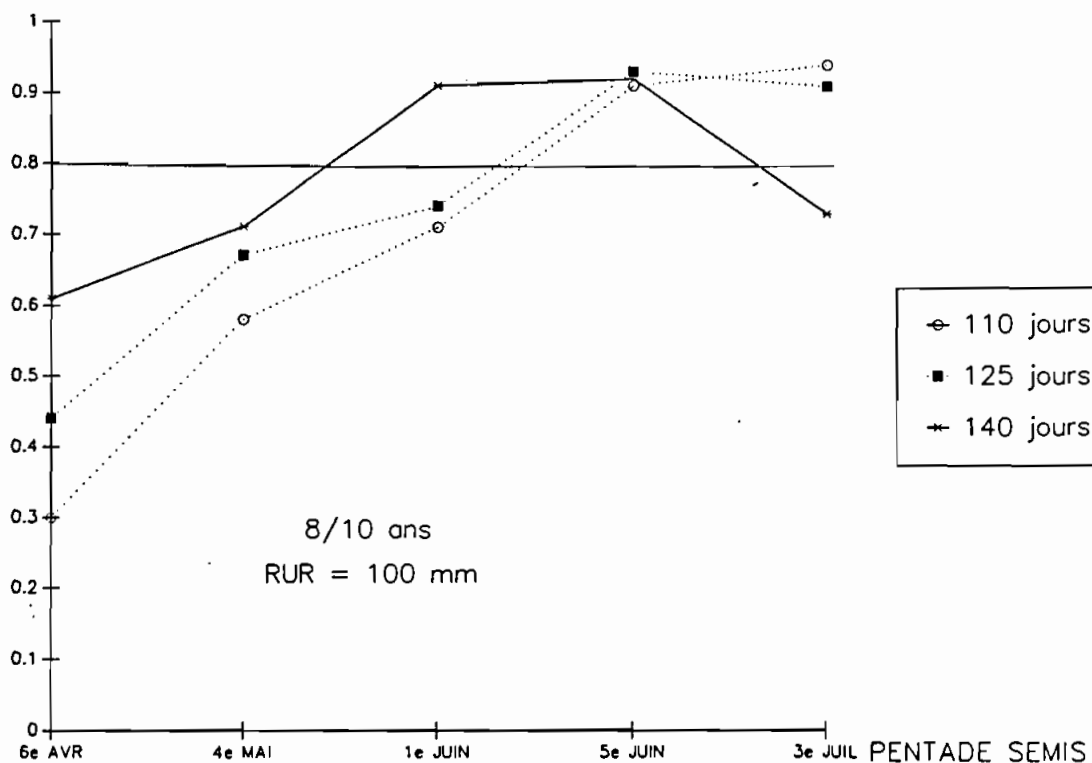


Figure 23-1 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Bobo Dioulasso.

ETR/ETM

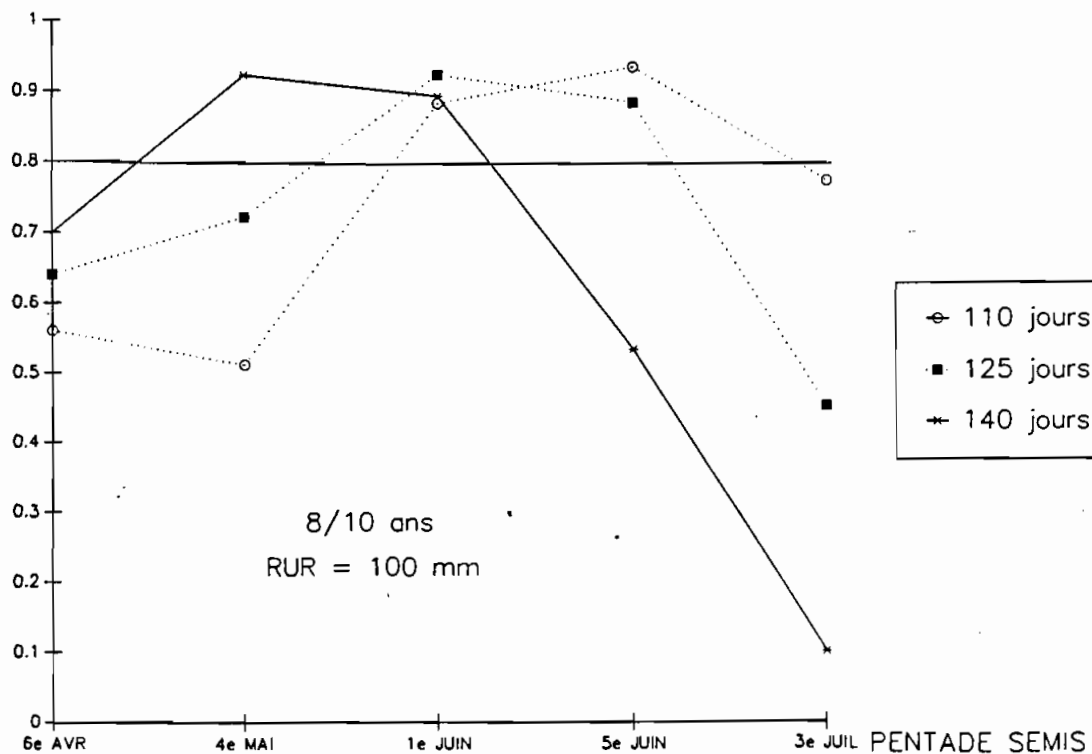


Figure 23-2 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Bobo Dioulasso.

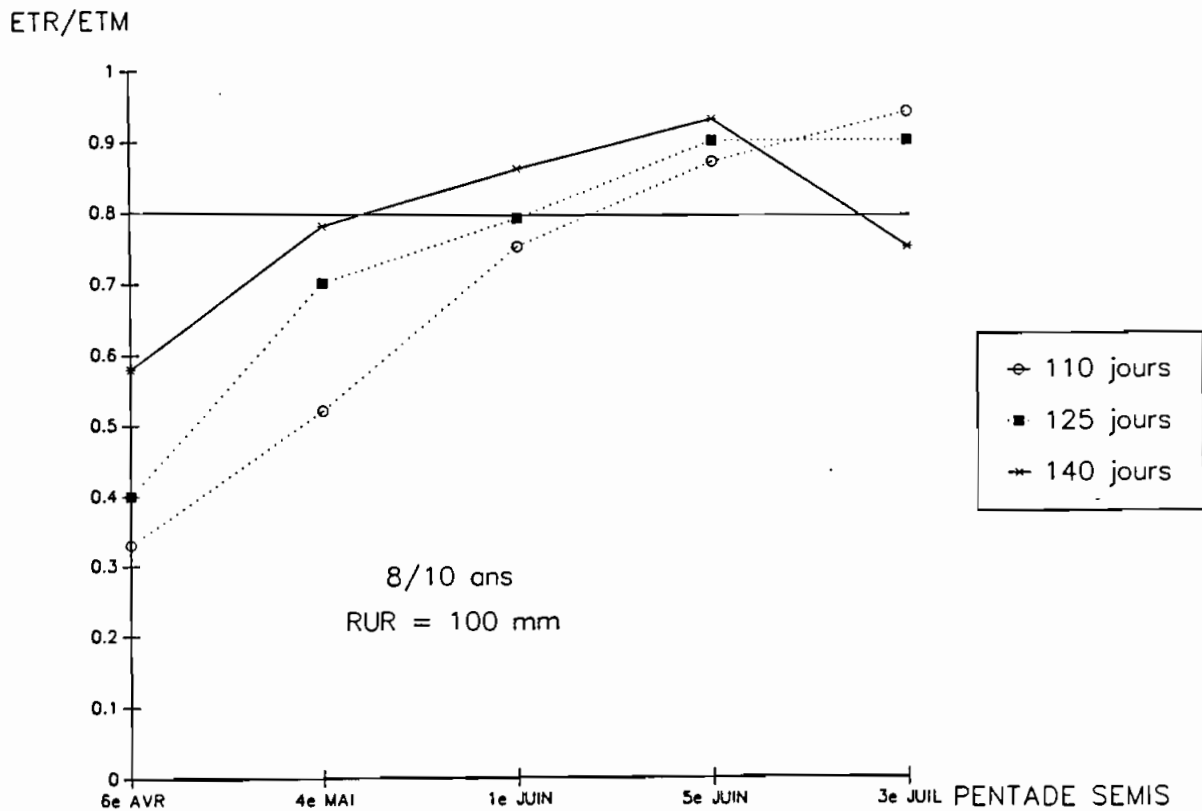


Figure 23-3 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Niangoloko.

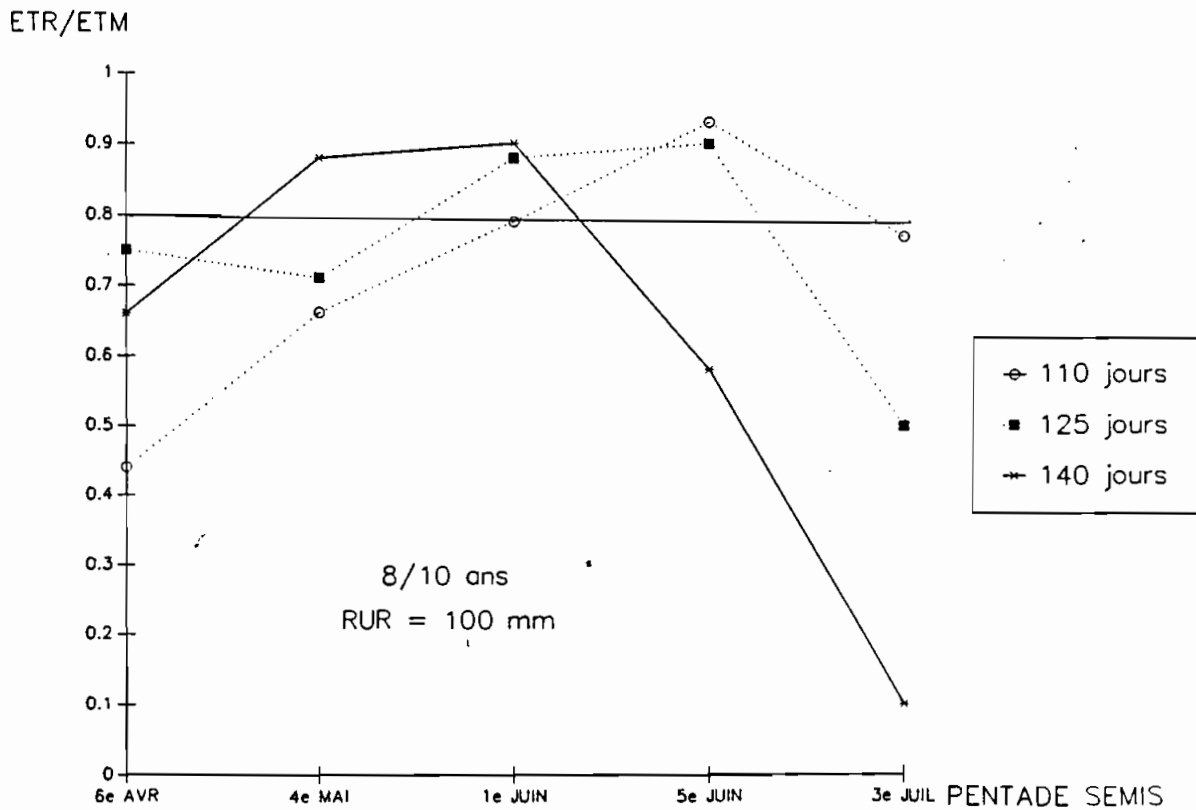


Figure 23-4 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Niangoloko.

ETR/ETM

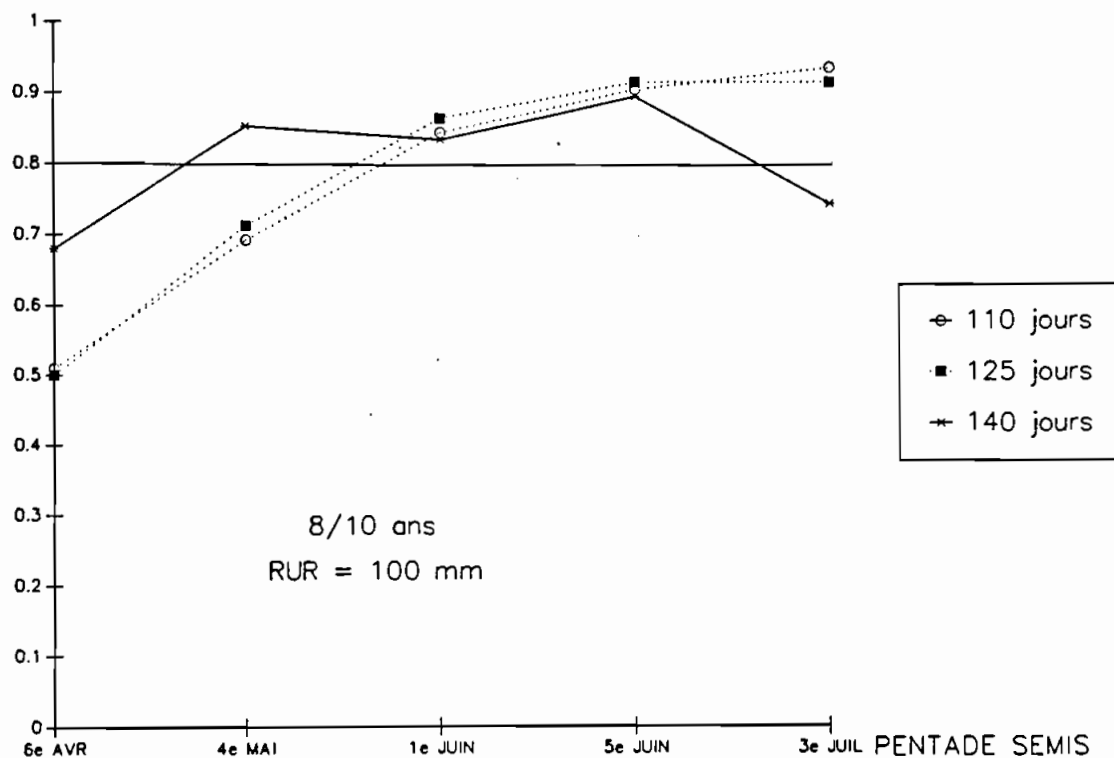


Figure 23-5 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Gaoua.

ETR/ETM

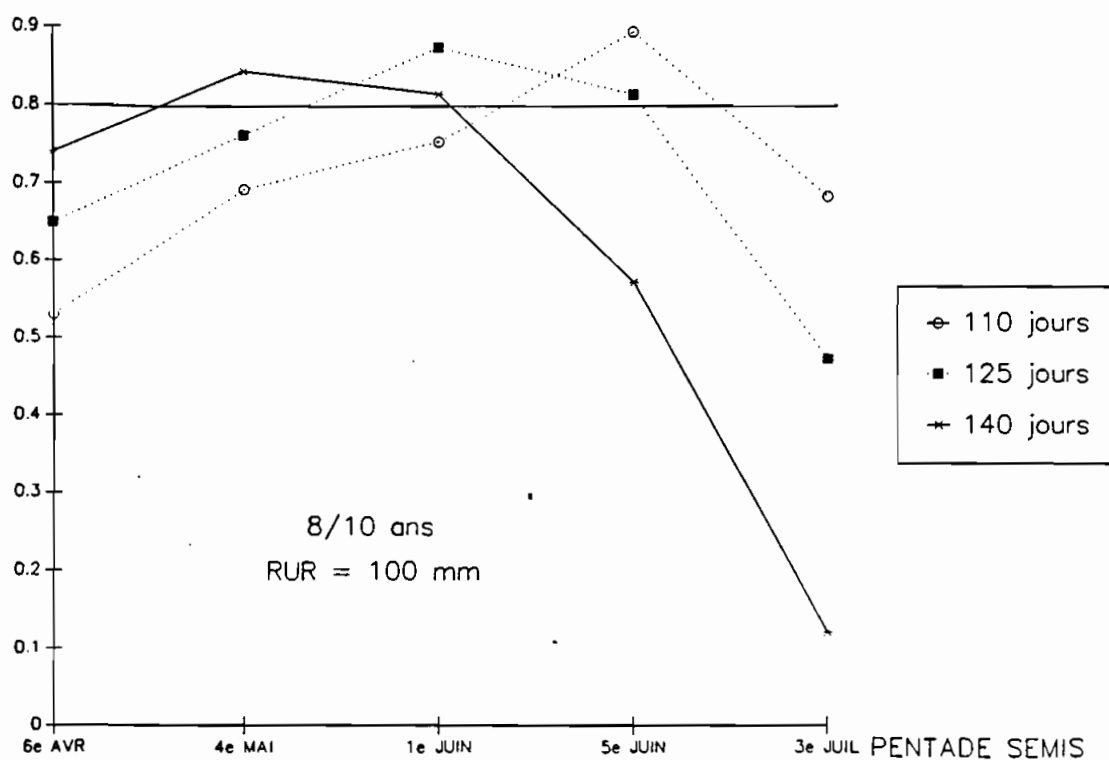


Figure 23-6: Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Gaoua.

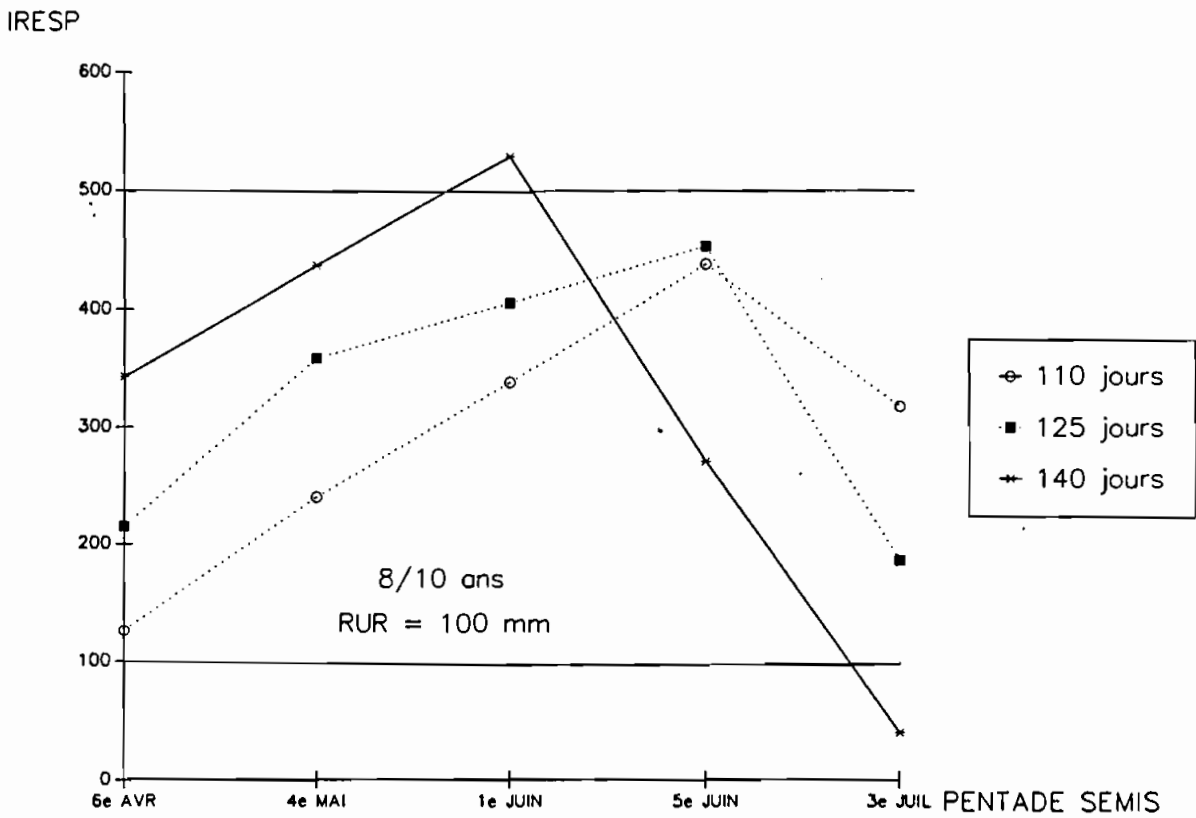


Figure 23-7 : Indices de rendement espéré du sorgho Bobo Dioulasso.

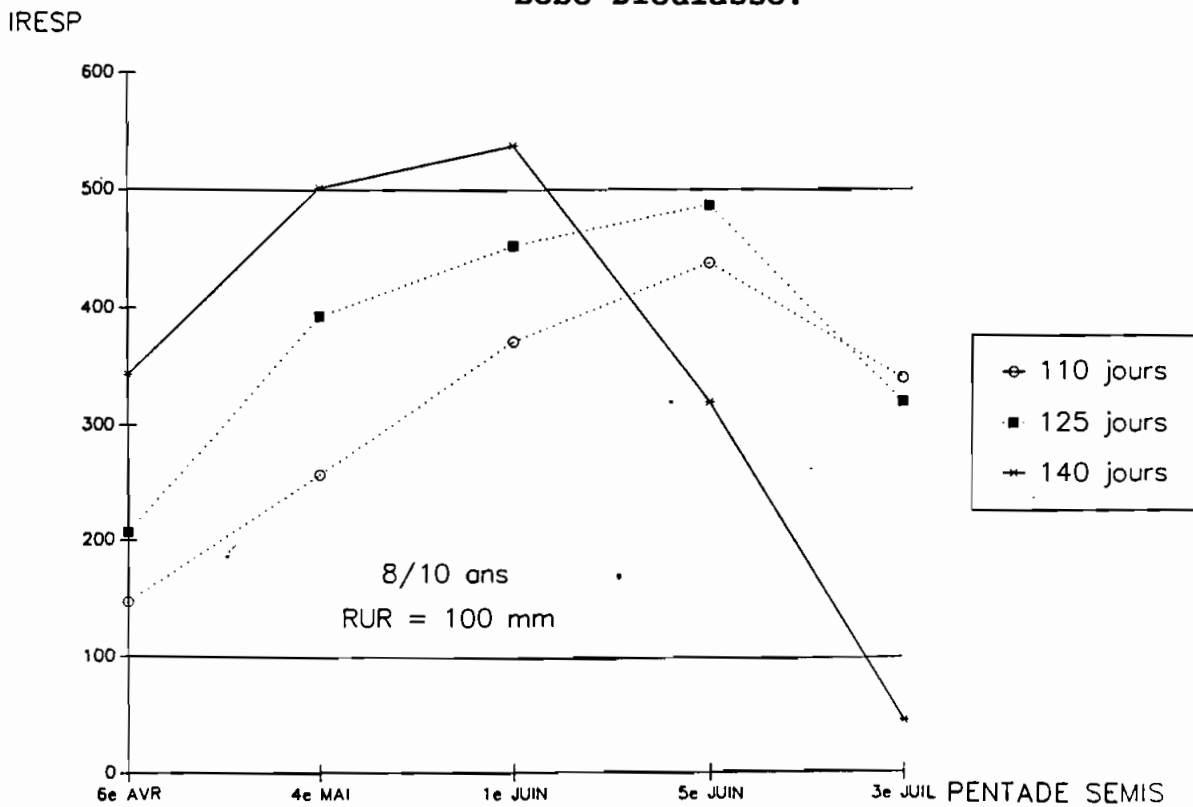


Figure 23-8 : Indices de rendement espéré du sorgho Niangoloko.

IRESP

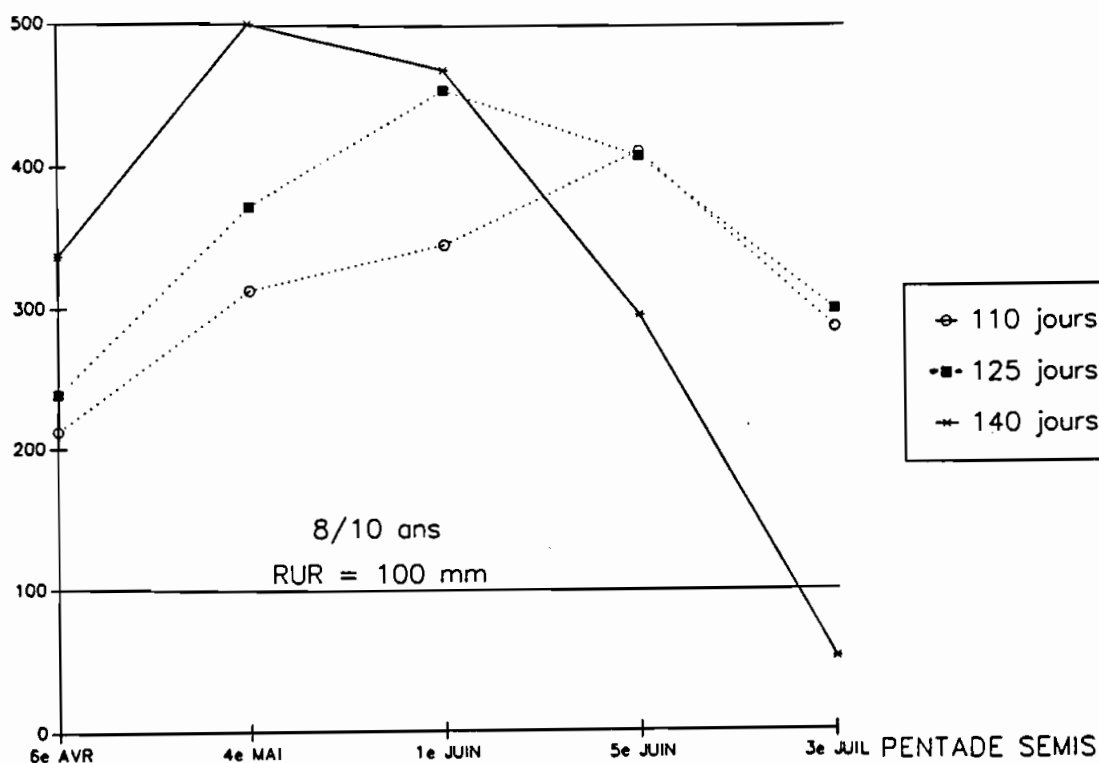


Figure 23-9 : Indices de rendement espéré du sorgho Gaoua.

Entre les trois stations, on constate un effet de la latitude qui montre que la période favorable pour les semis des sorghos à long cycle devient encore plus courte dans le Nord de la zone sud-soudanienne.

On observe aussi un effet de la longitude entre l'Est et l'Ouest en comparant les résultats de Gaoua et Bobo-Dioulasso.

Ces différences corroborent les "remontées" des isohyètes (cf. cartes n°3 et 4).

En prenant la formule $RDT = 22 \frac{ETR}{ETM} (\text{cycle}) \times \frac{ETR}{ETM} (\text{pc}) - 200$

proposée pour le sorgho et le mil au Mali on obtient, à titre indicatif, les résultats présentés dans le tableau 23-4 pour les stations de Bobo-Dioulasso, Saria et Ouahigouya.

Site	Cycle (jours)	Indice correspondant ETR x ETR/ETM (pc) (cycle)	Rendement espéré kg/ha
Bobo- Dioulasso	140	40 529	0 1600
Saria	125	51 288	0 850
Ouahigouya	90	70 161	100 480

**Tableau 23-4 : Valeurs approximatives des rendements
espérés du sorgho chez les paysans en 3 sites
du Burkina Faso**

Les rendements moyens du sorgho estimés par le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage dans la zone sud-soudanienne (cf. fig. 12-5, p. 59, et annexe 3) sont inférieurs aux rendements qu'on peut espérer atteindre (8/10 années) dans la région de Bobo, en utilisant un sorgho de 140 jours semé aux dates favorables même sans intensification (ce qui correspond à nos hypothèses de simulation).

2.1.2. Comportement du sorgho dans la zone Nord-soudanienne

On a choisi dans un premier temps, les stations de Saria (au Centre) et Fada N'Gourma (à l'Est) pour simuler avec une hypothèse de RUR = 100 mm, le comportement des 3 cultivars de sorgho retenus dans cette zone. La variété de 110 jours sera ensuite étudiée au niveau de l'ensemble des stations de la zone Nord-Soudanienne.

a. Satisfaction des besoins en eau du sorgho

Du point de vue de l'alimentation hydrique, les besoins du sorgho ne sont pas satisfaits à la fréquence de retour 8/10 années à Saria (Fig. 23-10 à 23-13) ce qui n'est pas le cas à Fada N'Gourma pourtant située à peu près à la même latitude. Ces différences s'expliquent sans doute par les différences des répartitions temporelles des pluies entre l'Est et le reste de la zone nord-soudanienne. A l'Est les semis peuvent se faire plus tôt (cf. carte n°7, p. 29) et la durée optimale du cycle de culture y est un peu plus longue (cf. carte n°10, p. 47).

La cinquième pentade de Juin est la période de semis la plus favorable quel que soit le cycle de culture.

Il n'est pas conseillé de semer très précocement, notamment avant le mois de Juin comme le font les paysans actuellement. Si on est contraint de semer après la fin de Juin, il vaut mieux le faire avec les variétés à cycle court (90 jours).

b. Indices du rendement espéré du sorgho

Les indices du rendement espéré du sorgho sont nettement plus faibles dans la zone nord-soudanienne par rapport à la zone sud-soudanienne (Fig. 23-14 et 23-15). Cela corrobore les estimations des rendements du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (cf. fig. 12-5 et 12-7, p. 59, et annexe 3).

Les 850 kg/ha de rendement espéré obtenu pour un sorgho de 125 jours à Saria (tableau 23-4) sont supérieurs aux rendements moyens estimés sur le Plateau Central. Ce qui peut signifier que nos hypothèses de calcul, notamment la RUR = 100 mm et le ruissellement de 35 % ne traduisent pas la majorité des situations de cette zone.

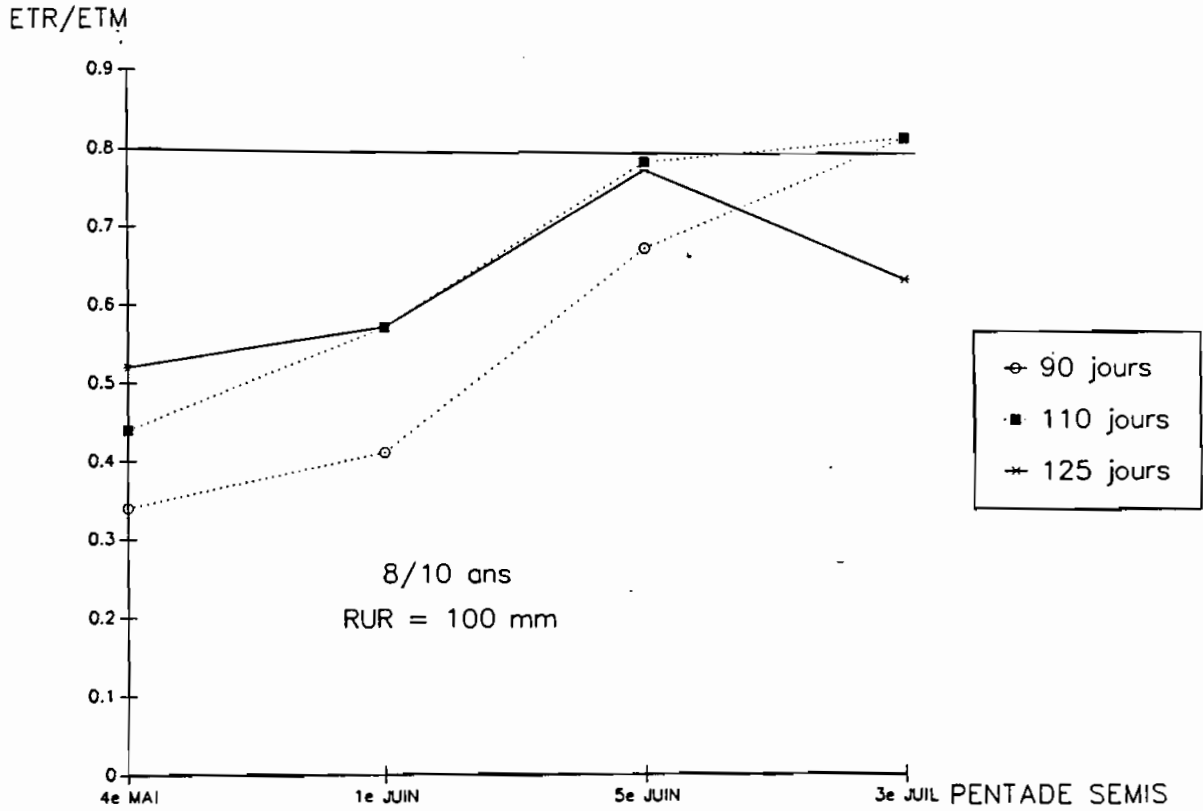


Figure 23-10 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Saria.

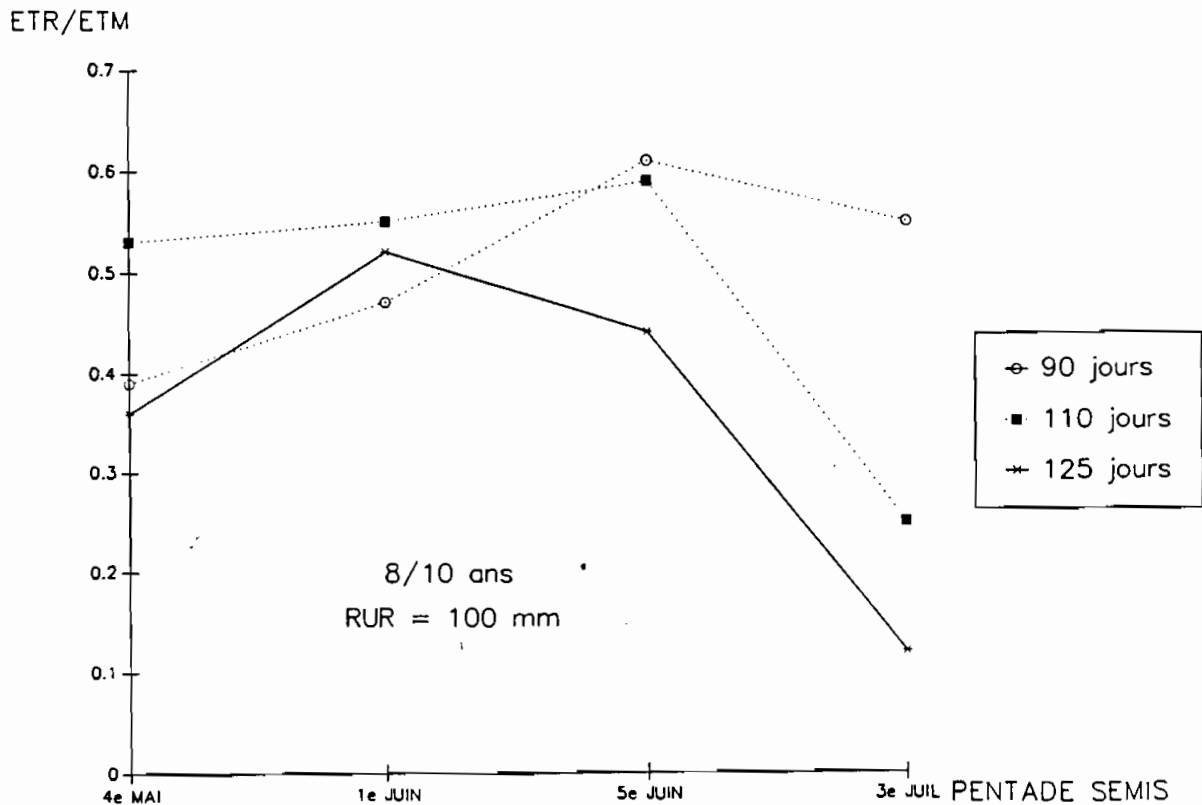


Figure 23-11 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Saria.

ETR/ETM

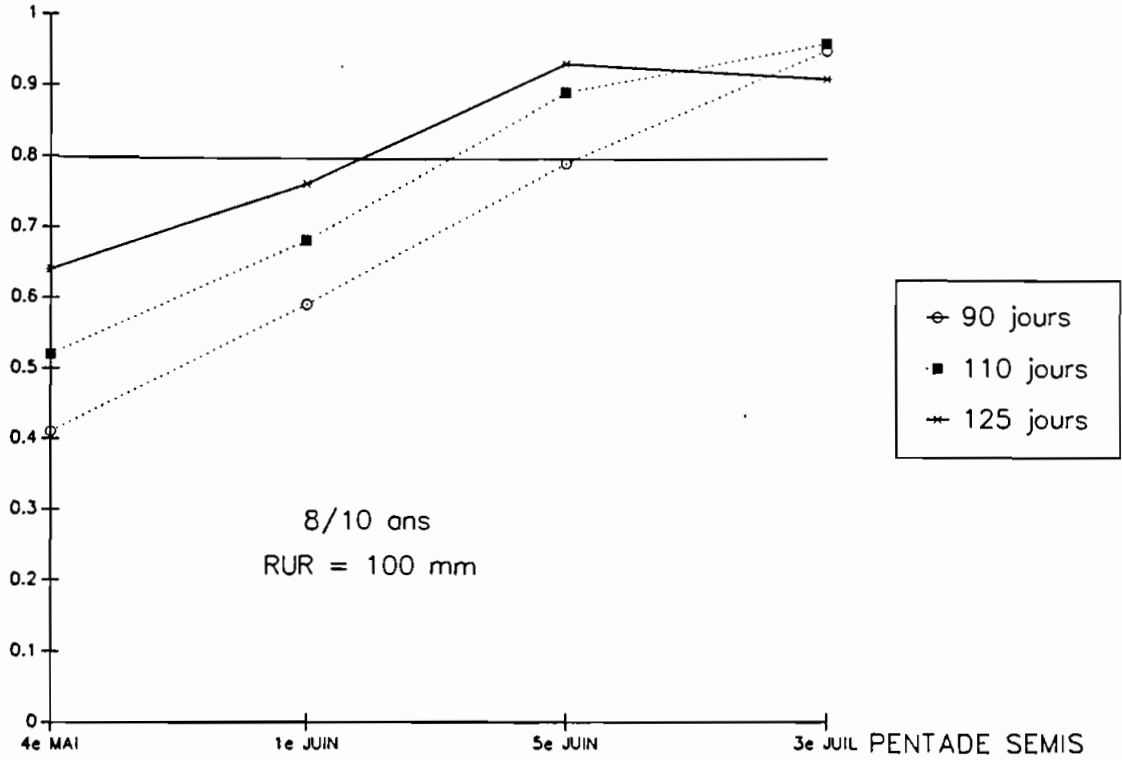


Figure 23-12 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Fada n'Gourma.

ETR/ETM

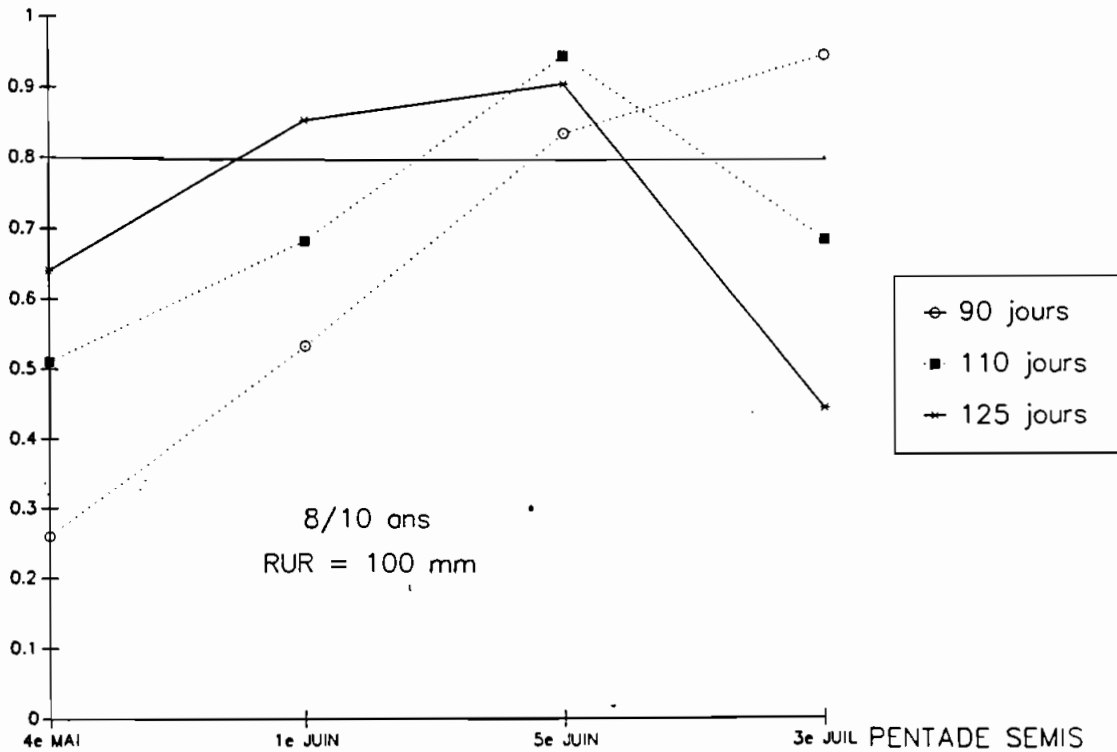


Figure 23-13 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Fada n'Gourma.

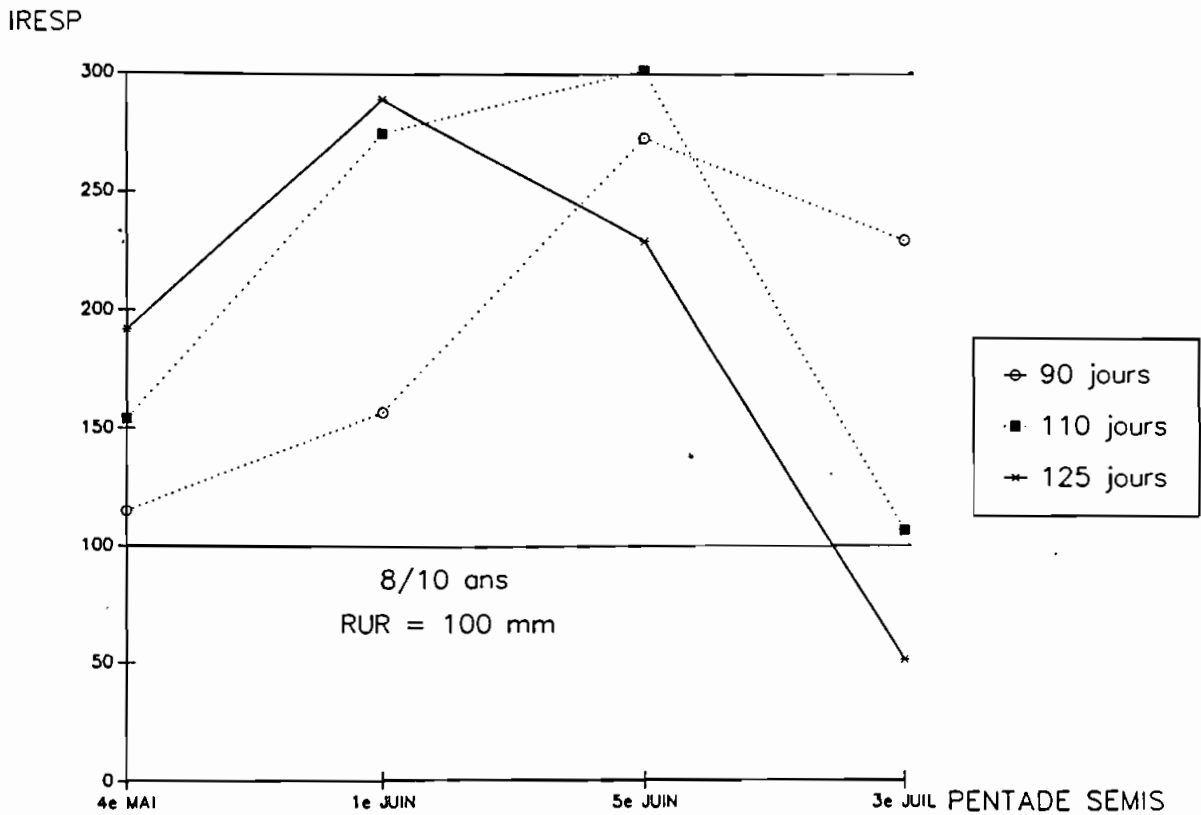


Figure 23-14 : Indices de rendement espéré du sorgho Saria.

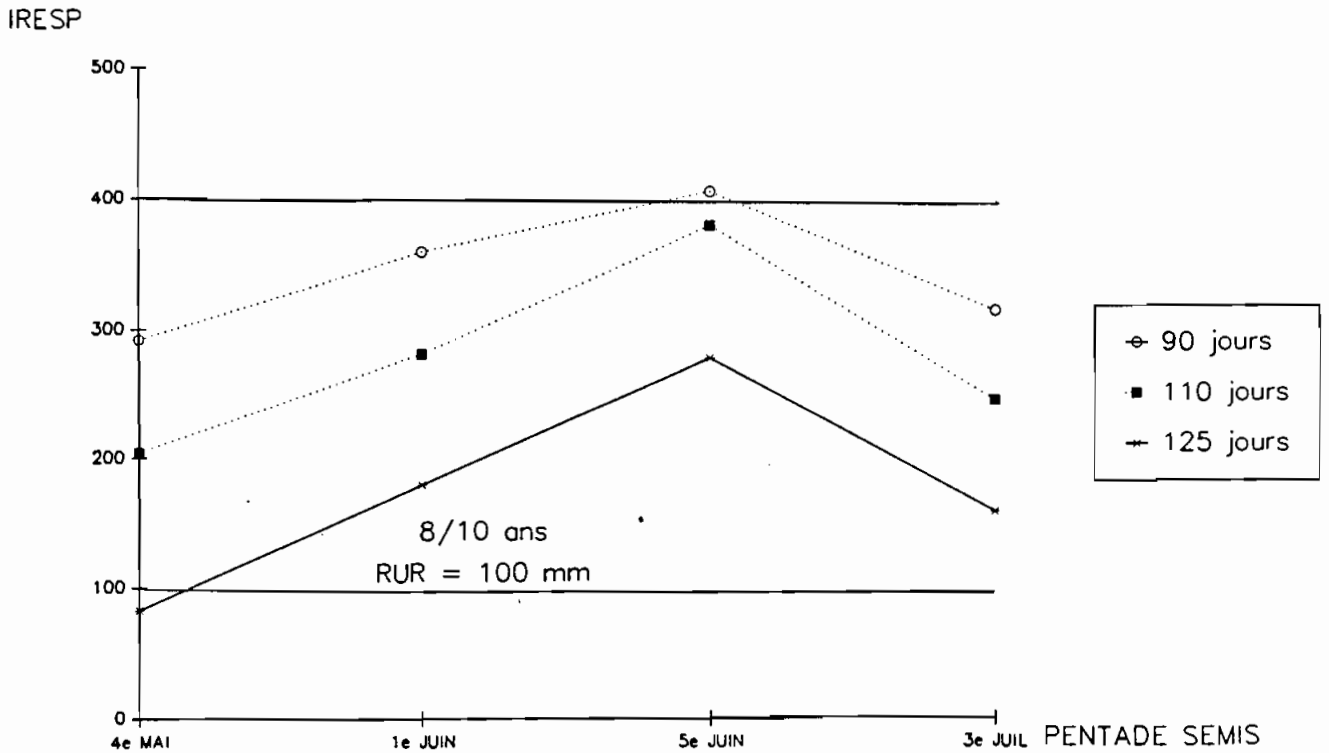


Figure 23-15 : Indices de rendement espéré du sorgho Fada n'Gourma.

En effet, l'hypothèse de RUR est prise à partir de valeurs obtenues en laboratoire sur des échantillons de sol remanié qui, en général ne sont pas les mêmes que celles mesurées "in situ" mais dont nous ne disposons pas.

Mais cela n'enlève rien à l'intérêt des indices de rendement calculés. Il faut surtout considérer leurs variations pour des paramètres identiques donnés.

L'Est semble être la zone de prédilection des variétés de 125 jours tandis que les variétés de 110 jours semblent mieux convenir au centre du Plateau Central.

A Saria, il vaut mieux utiliser les sorghos de 90 jours quand le semis est réalisé après la cinquième pentade de Juin.

Au niveau des deux sites, les semis précoces donnent 8/10 années des niveaux de rendement très faibles et qui varient selon la durée du cycle de la culture.

2.1.3. Comportement du sorgho dans la zone sahélienne

Deux stations Bogandé et Ouahigouya dans le Sud de cette zone agroclimatique ont été choisies pour simuler le comportement des deux types de sorgho de 90 jours et 110 jours avec une RUR = 100 mm.

Le sorgho 90 jours sera ensuite étudié sur l'ensemble des stations de la zone.

a. Satisfaction des besoins en eau du sorgho

Les conditions d'alimentation hydrique de celui-ci sont encore plus précaires 8/10 années dans cette zone que dans la zone précédente (Fig. 23-16 et 23-17).

A Ouahigouya, on n'atteint pas 80% de satisfaction des besoins en eau du sorgho à la période critique, quelles que soient la date de semis et la variété.

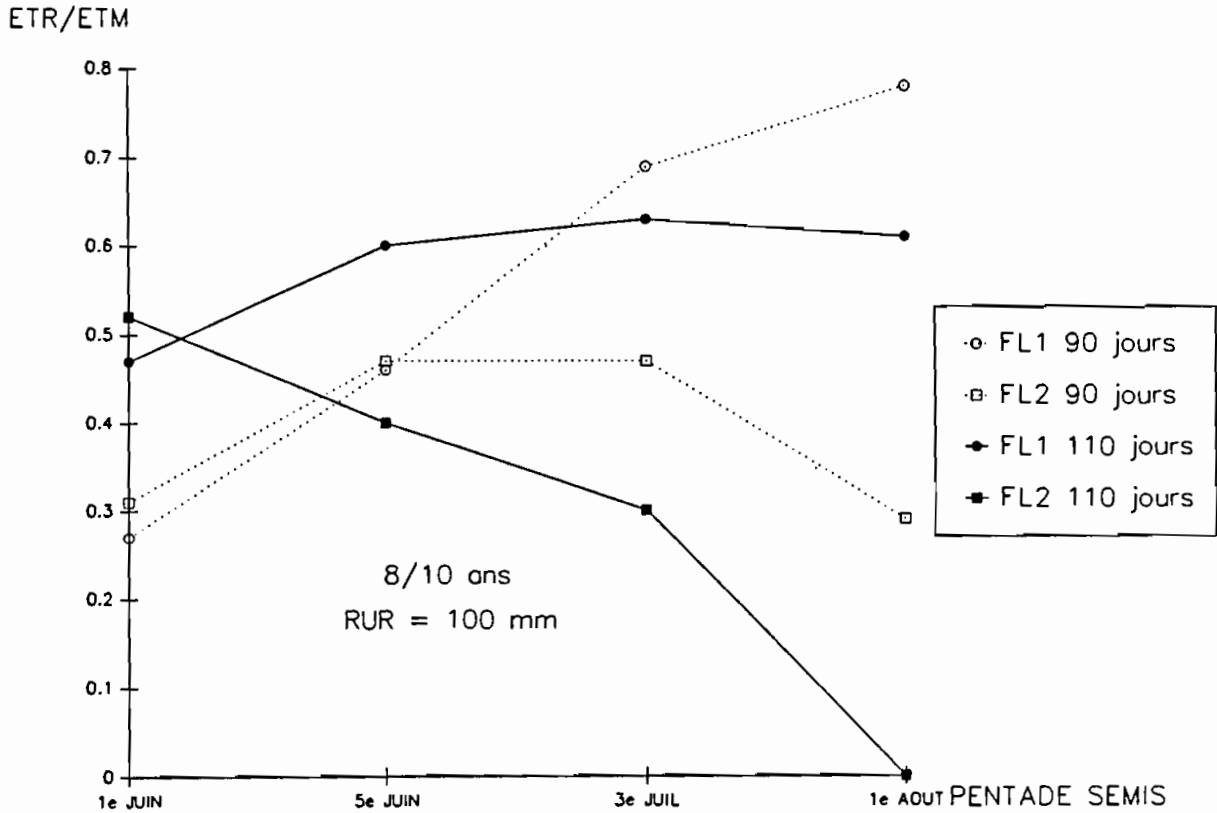


Figure 23-16 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du sorgho - Ouahigouya.

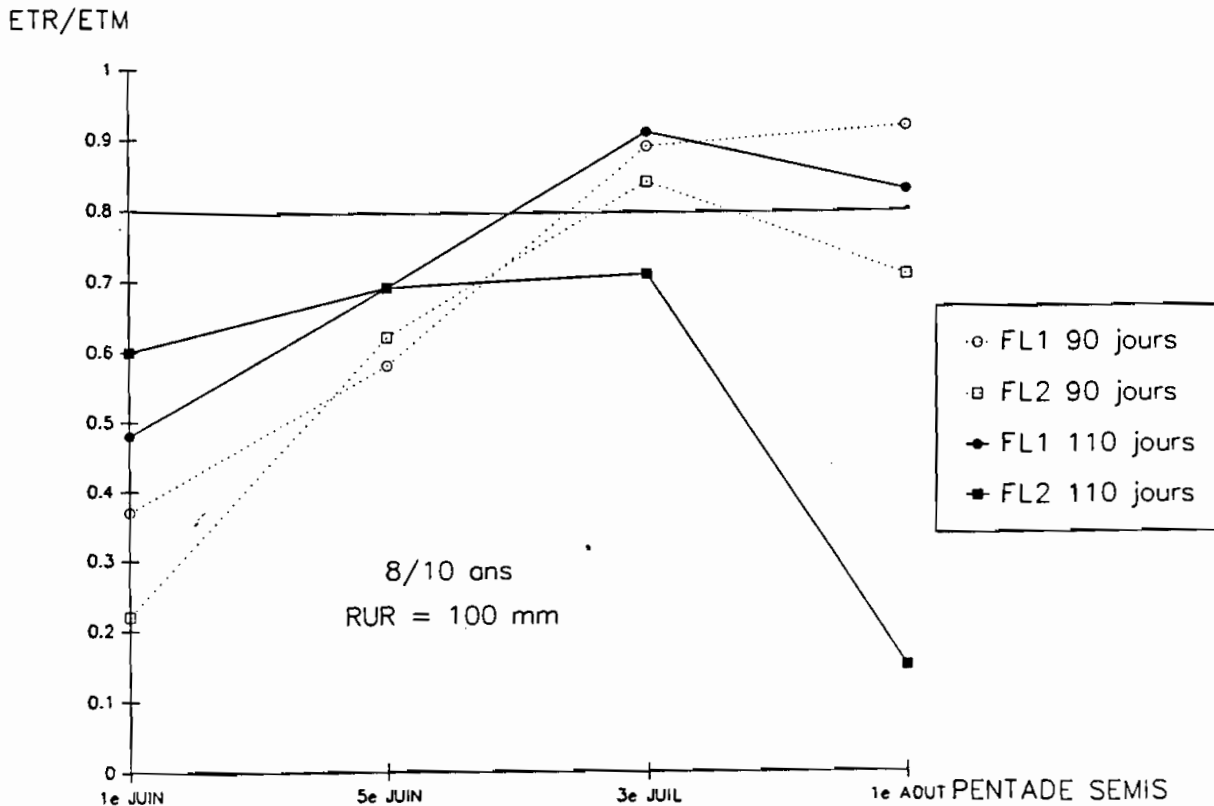


Figure 23-17 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du sorgho - Bogande.

IRESP

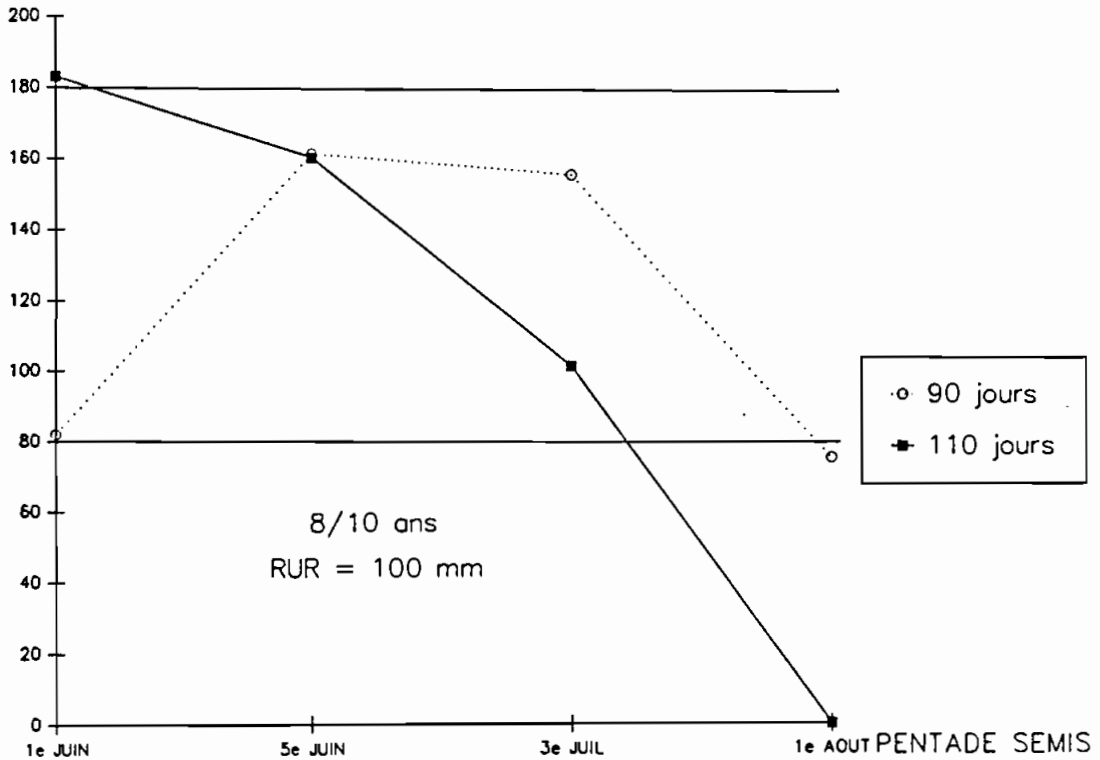


Figure 23-18 : Indices de rendement espéré du sorgho Ouahigouya.

IRESP

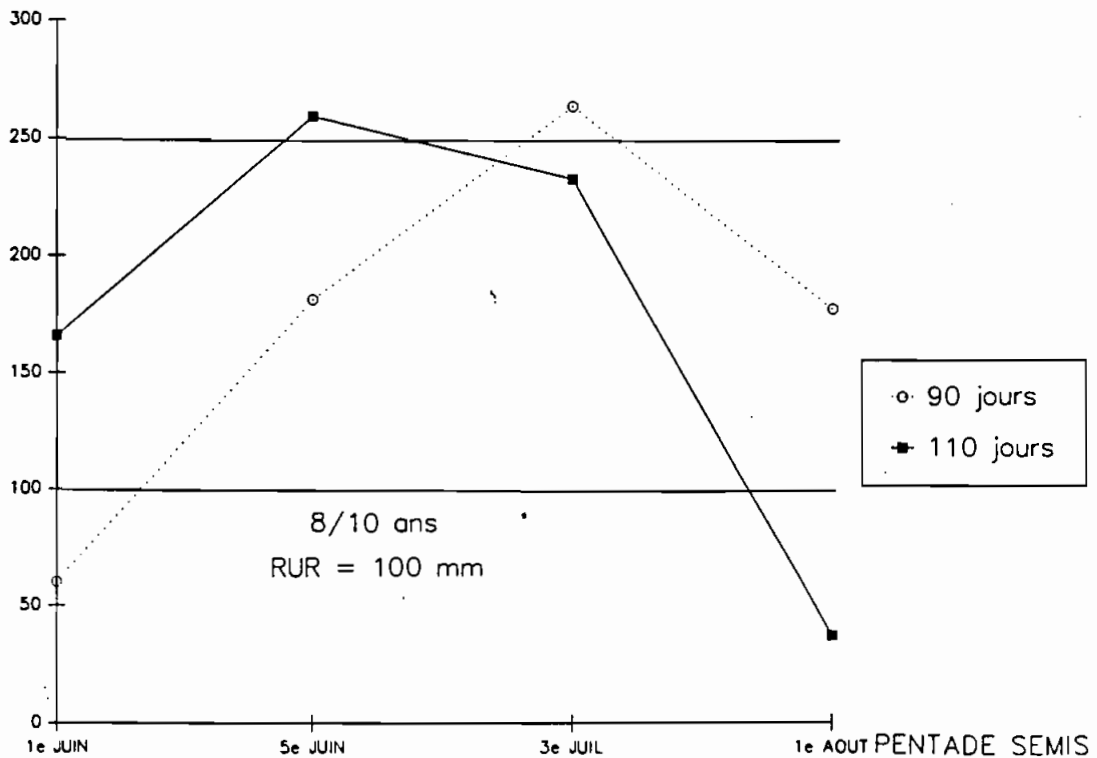


Figure 23-19 : Indices de rendement espéré du sorgho Bogande.

A Bogandé, seul le sorgho 90 jours atteint ce niveau quand le semis a lieu à la troisième pentade de Juillet. Les semis après cette période conduisent à des résultats très catastrophiques du point de vue du bilan hydrique, de même que les semis précoces du début Juin.

b. Indices du rendement espéré du sorgho

Dans cette zone agroclimatique, les indices du rendement espéré 8/10 années sont très faibles par rapport à ceux obtenus dans le reste du pays (Fig. 23-18 et 23-19).

A Bogandé on peut encore cultiver les deux sorghos en effectuant un semis décalé dans le temps, d'abord les variétés de 110 jours à la fin de Juin, puis les variétés de 90 jours en début Juillet. Par contre à Ouahigouya, il vaut mieux semer les variétés précoces comme IRAT 204 et SPV 35.

Leur cycle de 90 jours permet d'assurer 8/10 années un rendement de 450 kg/ha (tableau 23-4).

Là aussi, les semis tardifs sont à éviter absolument à cause de leur trop grand risque de déficit hydrique à la période critique, d'où des faibles indices de rendement espéré.

2.1.4. Zonage des indices du rendement espéré du sorgho

Le zonage est effectué sur l'ensemble du pays en considérant au niveau de chaque région la variété de sorgho (représentée par la durée du cycle) qui paraît la mieux adaptée durant la période 1970-1987.

Il s'agit respectivement des sorghos de :

- 125 jours pour la zone sud-soudanienne
- 110 jours pour la zone nord-soudanienne
- 90 jours pour la zone sahélienne

a. Zonage par rapport aux périodes de semis

La carte 14 montre bien que les semis précoces, par rapport aux dates favorables déterminées par le zonage de base, donnent très souvent (8/10 années) des indices de rendement faibles. Cela confirme les résultats obtenus par station.

En revanche les semis tardifs, (cartes 15) , c'est- a-dire réalisés au plus tard 3 à 4 semaines après les dates optimales de semis permettent d'obtenir des indices (IRESP) assez élevés même s'ils n'atteignent pas ceux qu'on peut espérer avec les bonnes dates de semis (cartes n° 16 et 17).

Pour une même hypothèse donnée, les lignes d'iso-valeurs de IRESP varient généralement dans le même sens que les paramètres agroclimatiques étudiés dans le zonage de base.

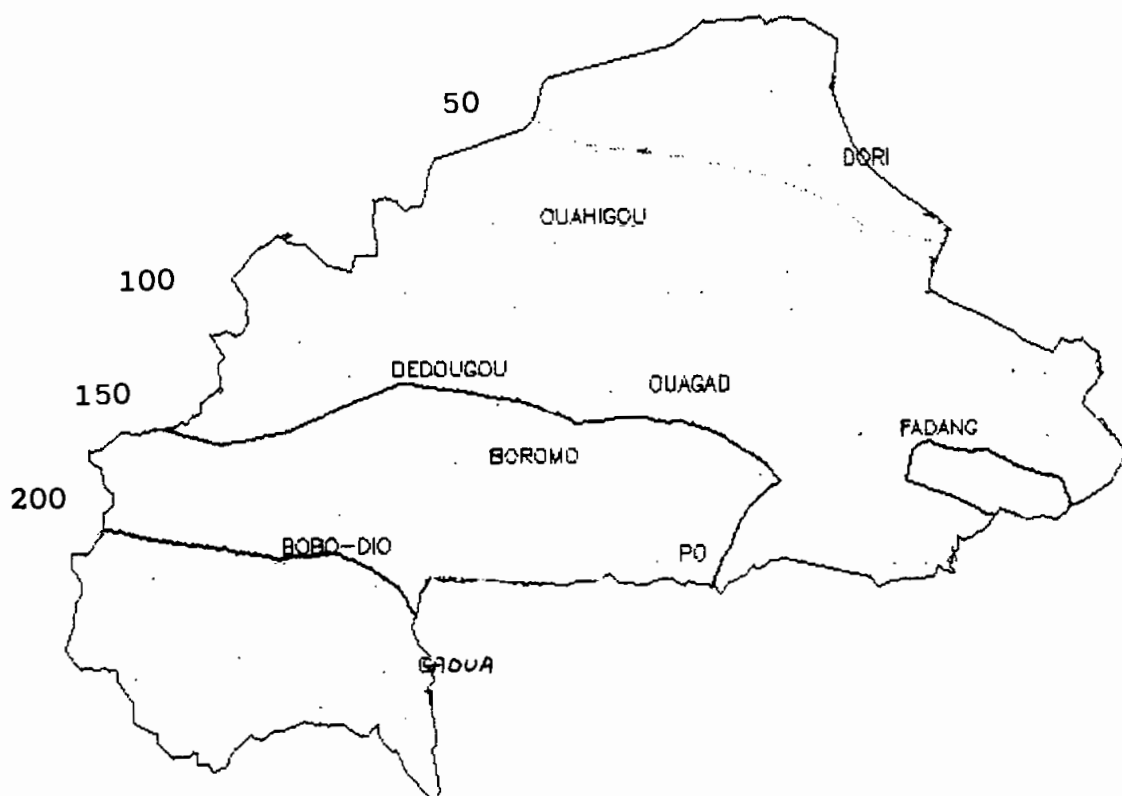
b. Zonage par rapport à la RUR

Les cartes 16, 17 et 18 donnent les indices du rendement espéré (IRESP) 8/10 années en fonction du niveau de la réserve utile racinaire RUR, les autres hypothèses étant comparables par ailleurs.

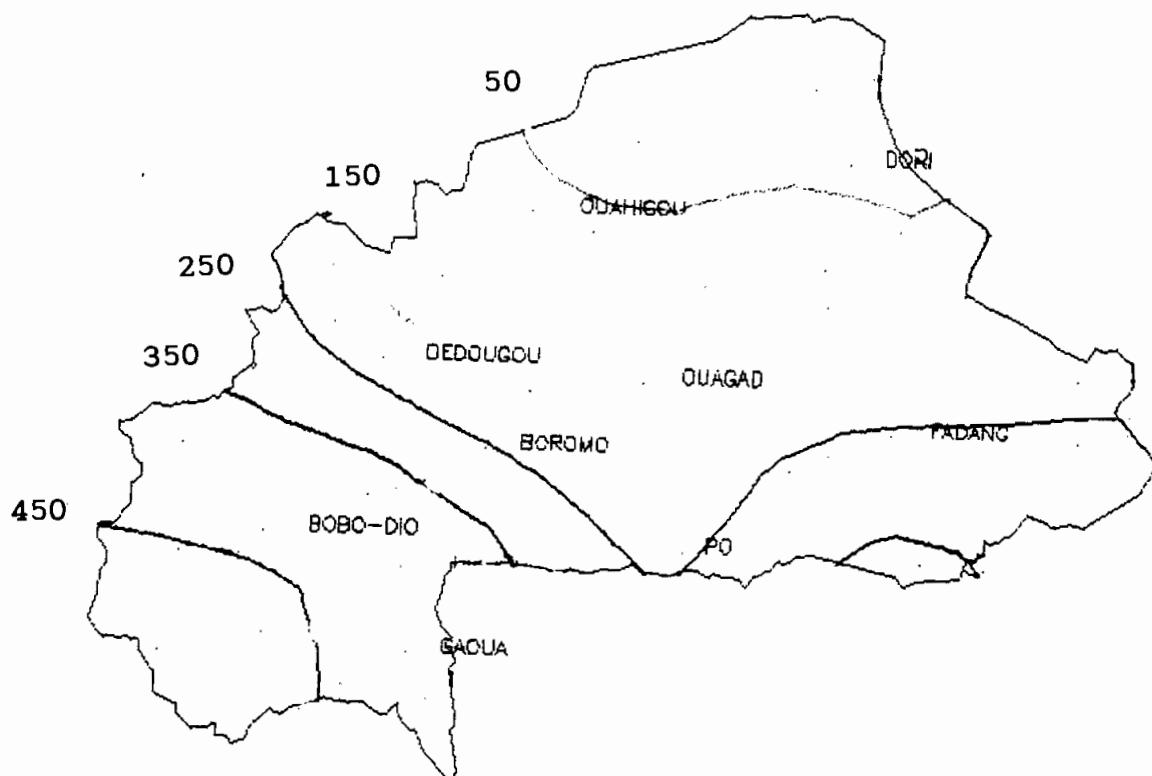
Le comportement du sorgho, confirme ce qu'on avait déjà noté au niveau du zonage des potentialités agropédoclimatiques à savoir :

- des différences importantes entre la RUR = 50 mm et la
RUR = 100 mm
- peu de différences, par contre, entre la RUR = 100 mm et la
RUR = 150 mm

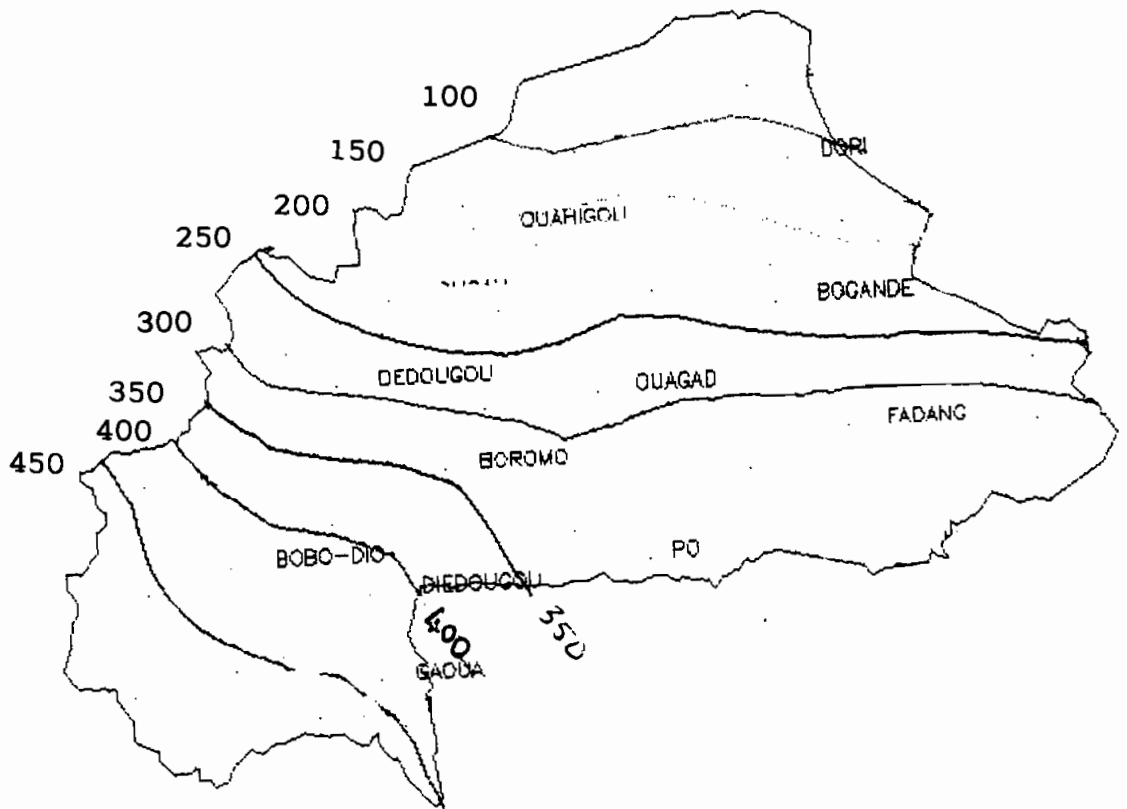
Cela est dû d'une part à une insuffisance du modèle BIPZON qui ne prend pas en compte la dynamique de l'enracinement de la culture au cours de son cycle, mais d'autre part, cela traduit l'insuffisance des pluies actuelles à assurer, 8/10 années une réserve du sol de 150 mm pendant la plus grande partie du cycle.



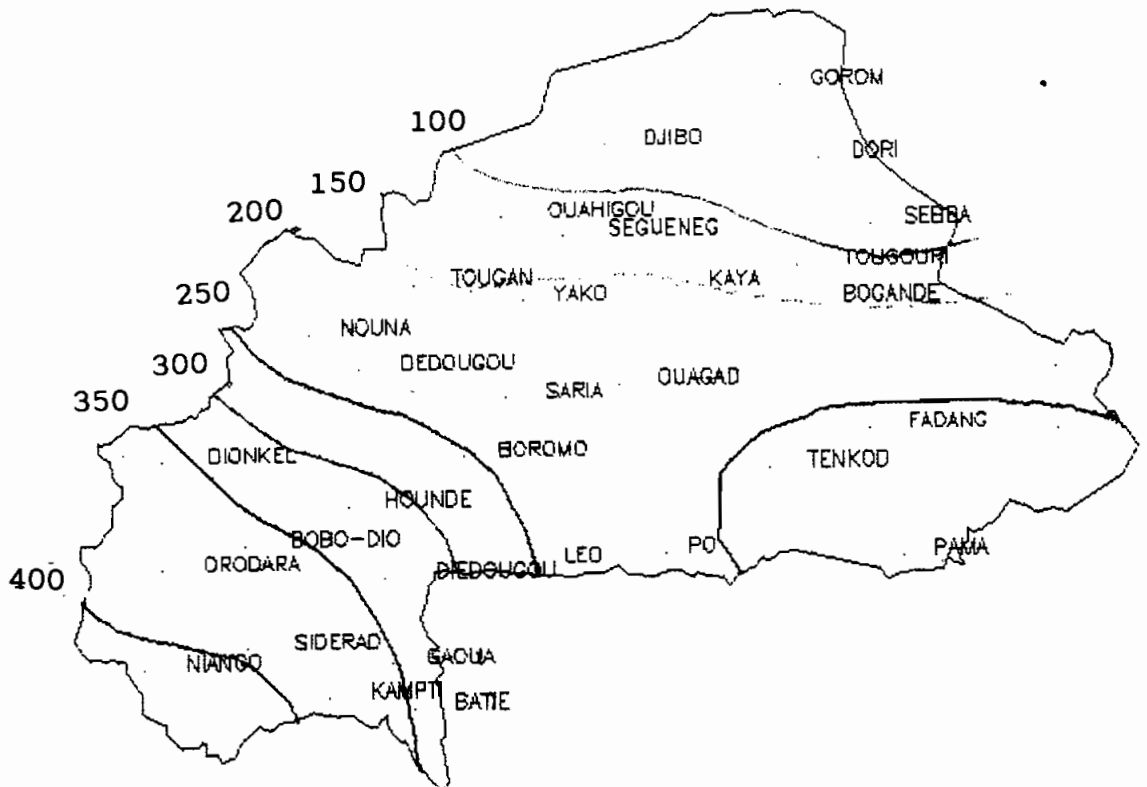
**Carte n° 14 : Indices des rendements espérés du sorgho
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces.**



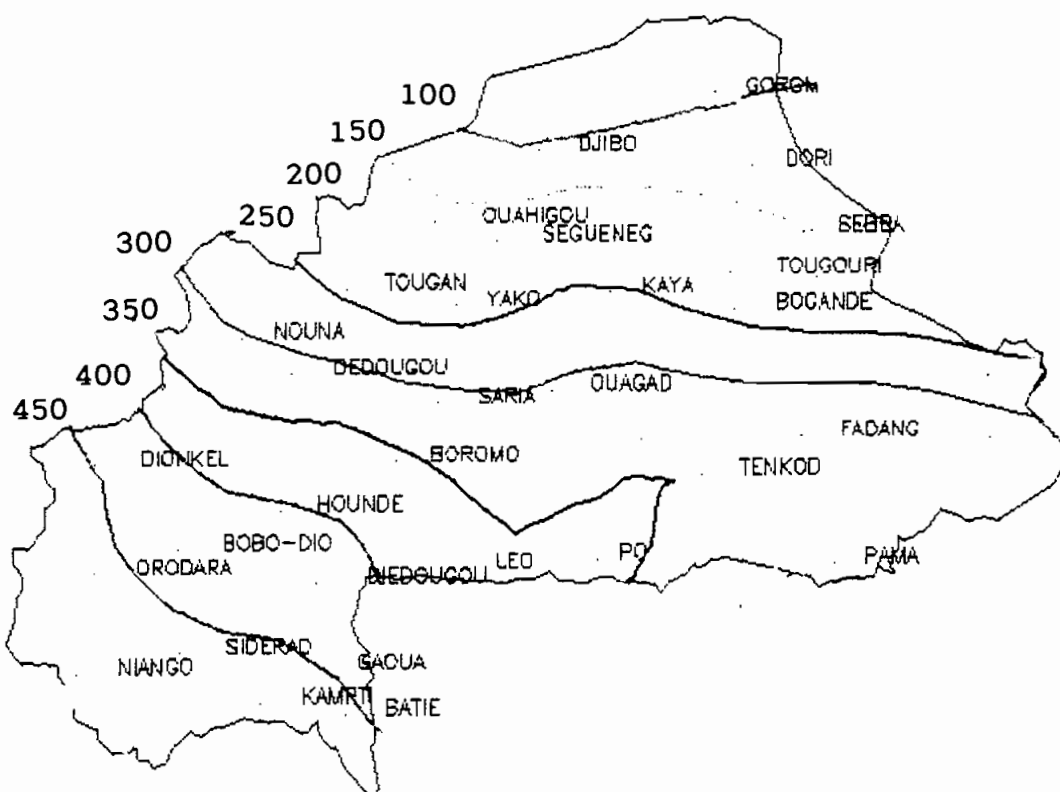
**Carte n° 15 : Indices des rendements espérés du sorgho
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis tardifs.**



**Carte n° 16 : Indices des rendements espérés du sorgho
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 17 : Indices des rendements espérés du sorgho
Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 18 : Indices des rendements espérés du sorgho
Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables.**

2.1.5. Conclusions sur le comportement du sorgho

Cette étude montre que :

- Dans la zone Sud-Soudanienne, les besoins hydriques du sorgho sont généralement satisfaits pendant les phases critiques, à condition de semer aux bonnes dates. Quand la saison pluvieuse s'installe tardivement il vaut mieux semer les variétés à cycle intermédiaire (125 jours).

- Dans la zone nord-soudanienne et plus particulièrement sur le Plateau Central, les besoins en eau du sorgho ne sont pas satisfaits 8/10 années à la période critique quelles que soient la date de semis et la variété utilisée. On a alors des indices du rendement faibles. D'où la nécessité d'appliquer les techniques d'amélioration du bilan hydrique que nous avons étudiées.

- Dans la zone sahélienne, les conditions d'alimentation hydrique du sorgho sont encore plus précaires. On a des indices du rendement espéré très faibles. Si les semis sont un peu retardés, on court très souvent un grand risque de ne rien récolter. Cette culture tend donc à devenir marginale dans cette zone. Il faudrait appliquer les techniques d'économie de l'eau basées sur le travail du sol mais aussi envisager une irrigation d'appoint quand cela est possible.

2.2. Zonage du maïs

Nous avons simulé au niveau des stations de Niangoloko et Houdé qui bornent à peu près la zone maïscole du pays, le comportement des maïs de 130, 110 et 90 jours. Pour la zone nord-soudanienne, et le sud de la zone sahélienne, nous avons utilisé uniquement le maïs de 90 jours.

2.2.1. Comportement du maïs dans la zone sud-soudanienne

a. Satisfaction des besoins en eau du maïs

Les figures 23-20 et 23-21 montrent que quelle que soit la variété, les semis réalisés avant la 4ème pentade de mai, ne permettent pas au maïs de satisfaire au moins 80 % de ses besoins en eau à la période critique (floraison mâle et femelle).

Les semis peuvent commencer avec les variétés de 130 jours en fin mai. Par contre, il faut attendre pratiquement la deuxième pentade de Juin pour semer le maïs de 110 jours et la fin de Juin pour les semis du maïs de 90 jours.

Les maïs de 130 et 110 jours ne doivent plus être semés au-delà respectivement de la fin Juin et du 15 Juillet, si non ils risquent de subir un stress hydrique important au moment de la floraison.

Pour les semis aux dates favorables ce risque existe mais il est moins important et pourrait être évité en appliquant des techniques appropriées d'économie de l'eau. C'est pourquoi nous avons utilisé cette culture dans les essais au niveau de cette zone.

b. Indices du rendement espéré du maïs

A l'instar des sorghos, les variétés de maïs à plus long cycle, donnent les meilleurs indices de rendement (Fig. 23-22 et 23-23, tableau 23-5). On note un effet de la latitude entre les deux stations ; qui fait que les semis précoces doivent être décalés dans le temps à Houndé par rapport à Niangoloko.

Les variétés de 90 jours ont des indices de rendement faibles. Elles constituent néanmoins la solution la meilleure en semis tardifs.

ETR/ETM

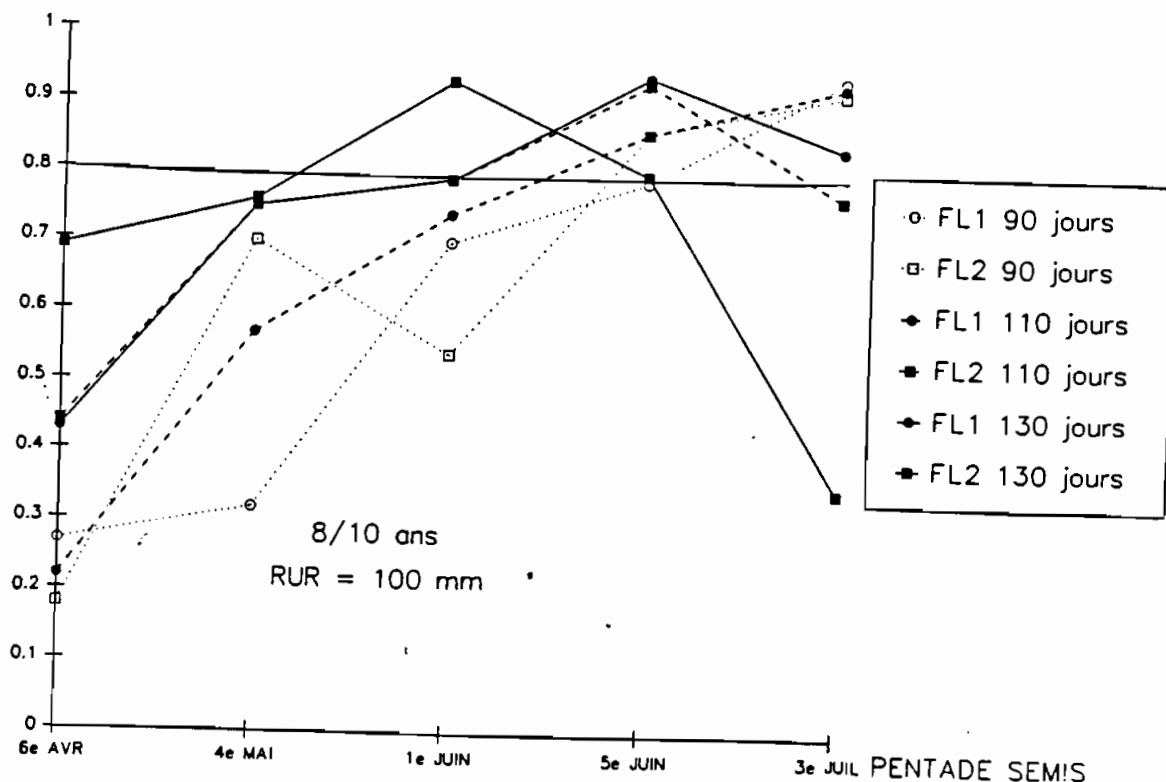


Figure 23-20 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs - Niangoloko.

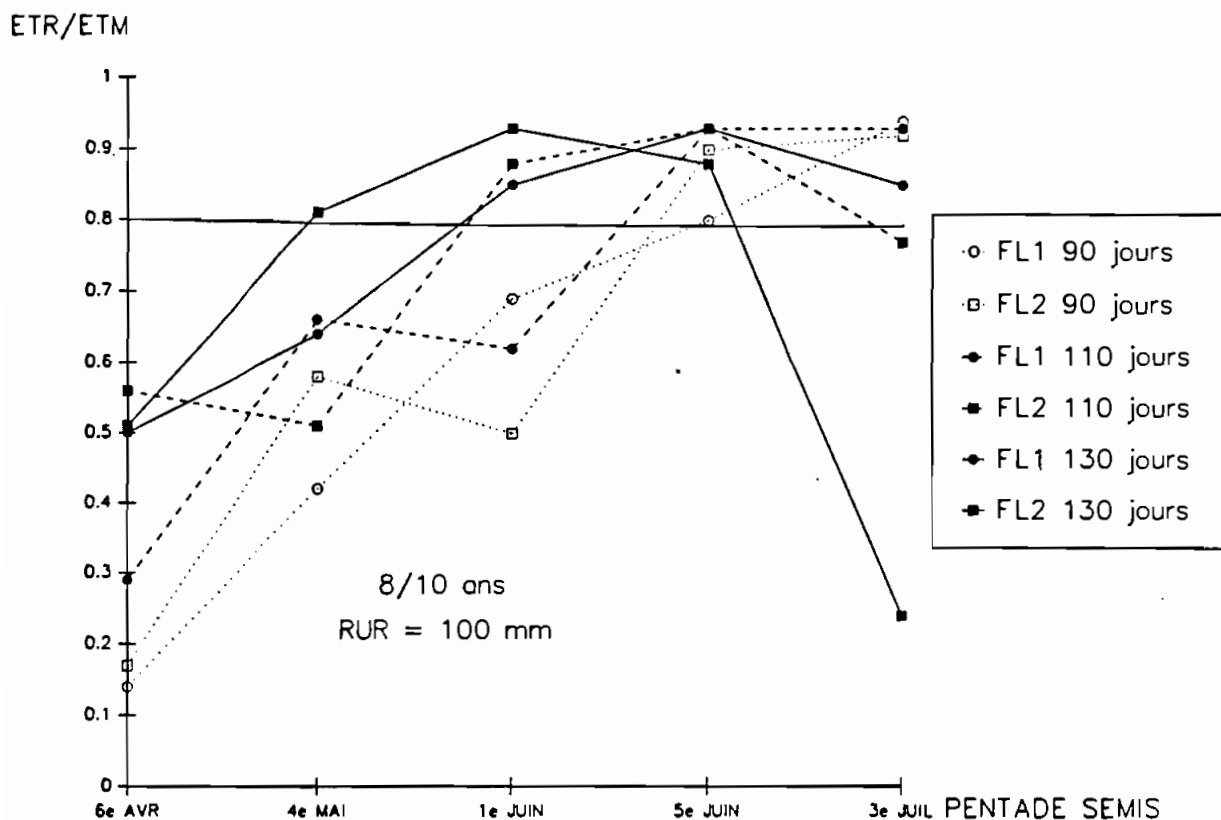


Figure 23-21 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs - Houndé.

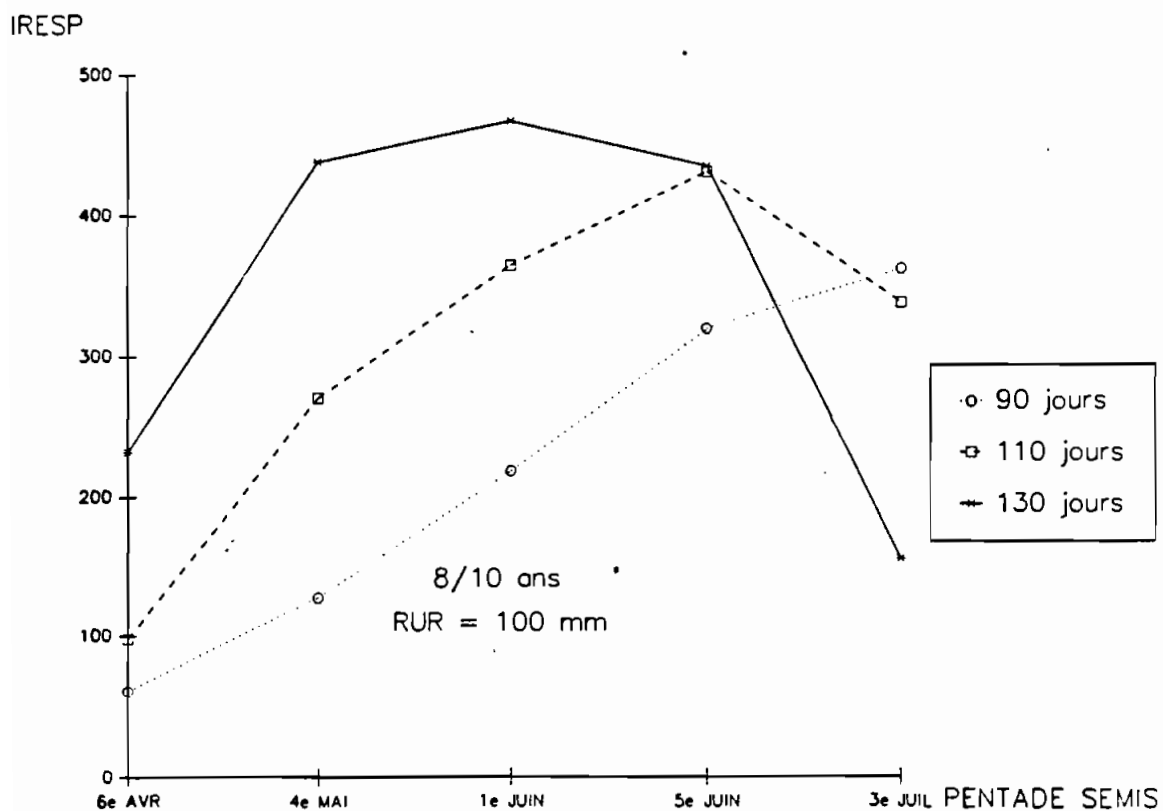


Figure 23-22 : Indices de rendement espéré du maïs Niangoloko.

IRESP

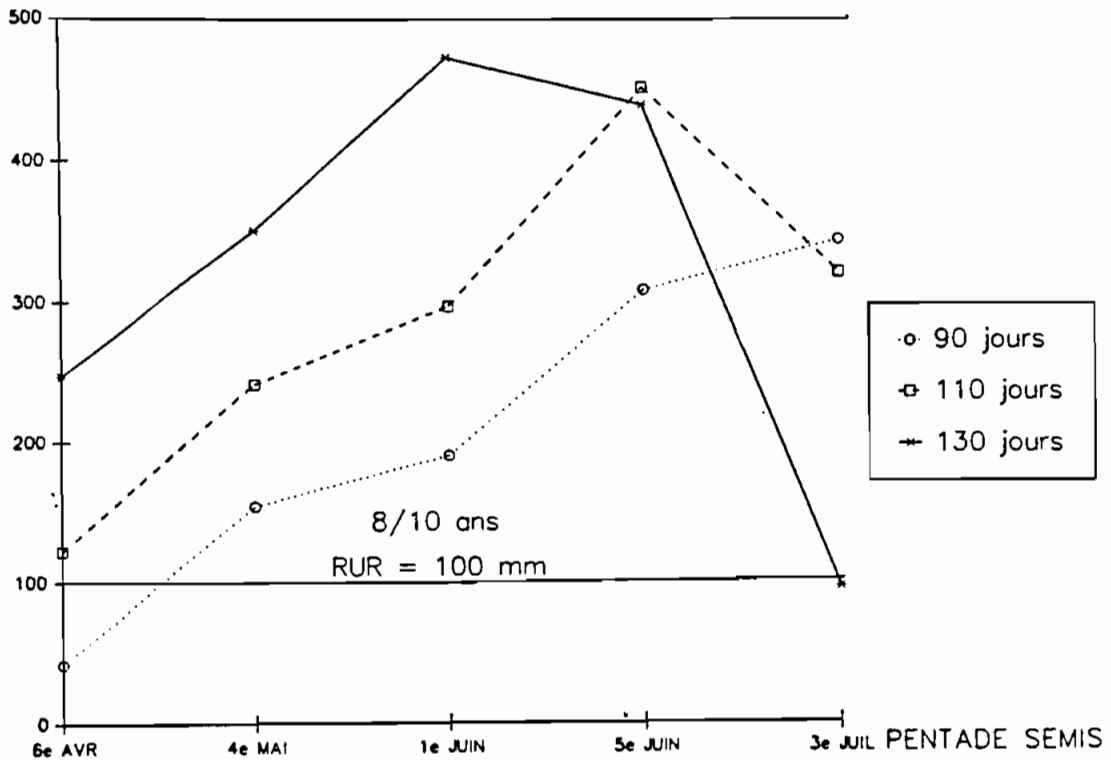


Figure 23-23 : Indices de rendement espéré du maïs Houndé.

Site	Cycle jours	Indice ETR(cycle) x ETR pc ETM	Rendement espéré kg/ha
Bobo-Dioulasso	110	122 450	21 3170
Saria	90	218	943
Ouahigouya	90	160	386

* Rendement calculés selon la formule :

$$RDT = 9,6 \text{ ETR} \times \frac{\text{ETR (pc)}}{\text{ETM}} - 1150 \text{ proposée pour le Mali.}$$

Tableau : 23-5 : Valeurs approximatives des rendements espérés du maïs pour 3 sites du Burkina

La formule utilisée à été obtenue à partir des résultats d'expérimentations agronomiques. On ne peut donc pas faire des comparaisons avec les estimations des rendements du maïs faites par le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage.

Mais il est intéressant de savoir que l'indice IRESP = 100 correspond à un rendement pratiquement nul.

2.2.2. Comportement du maïs dans les autres régions du pays

a. Satisfaction des besoins en eau de la culture

Quelle que soit la date de semis, les besoins en eau de la culture de 90 jours ne sont pas correctement satisfaits 8/10 années à la période critique. A l'exception cependant de la partie est du pays, quand les semis ont lieu après la 5ème pentade du Juin (Fig. 23-24 à 23-27).

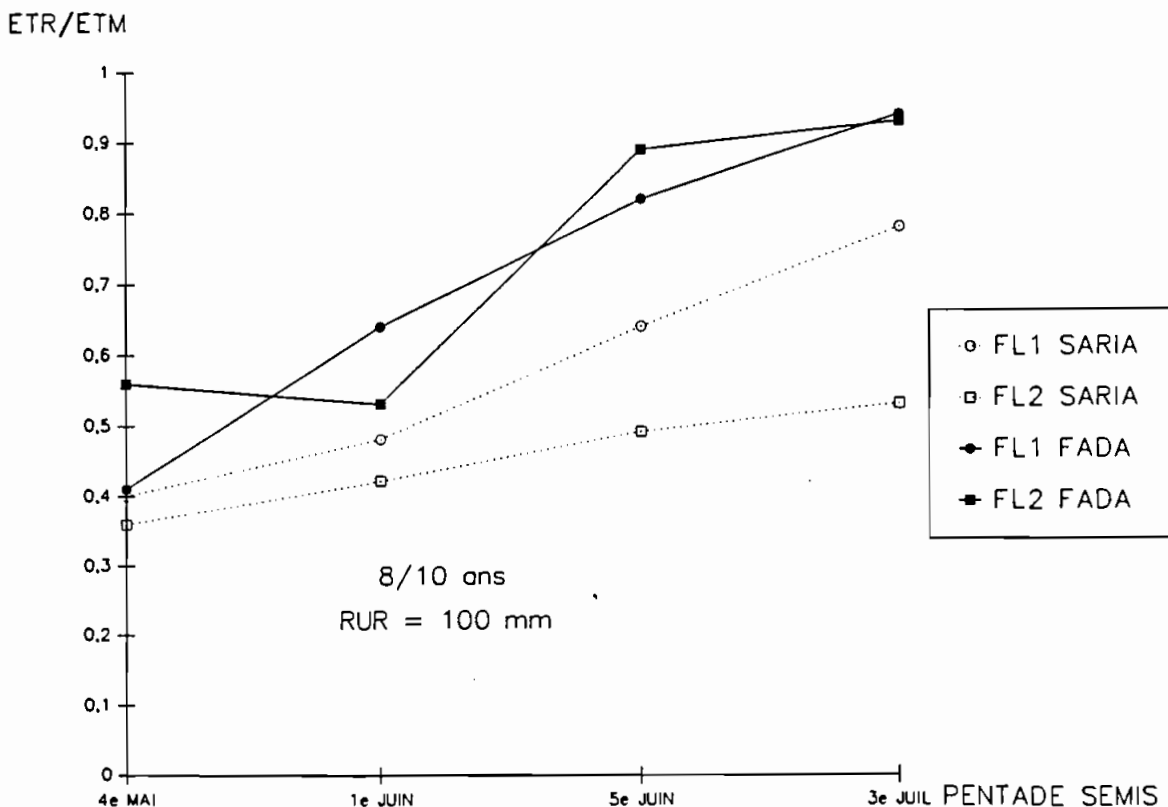
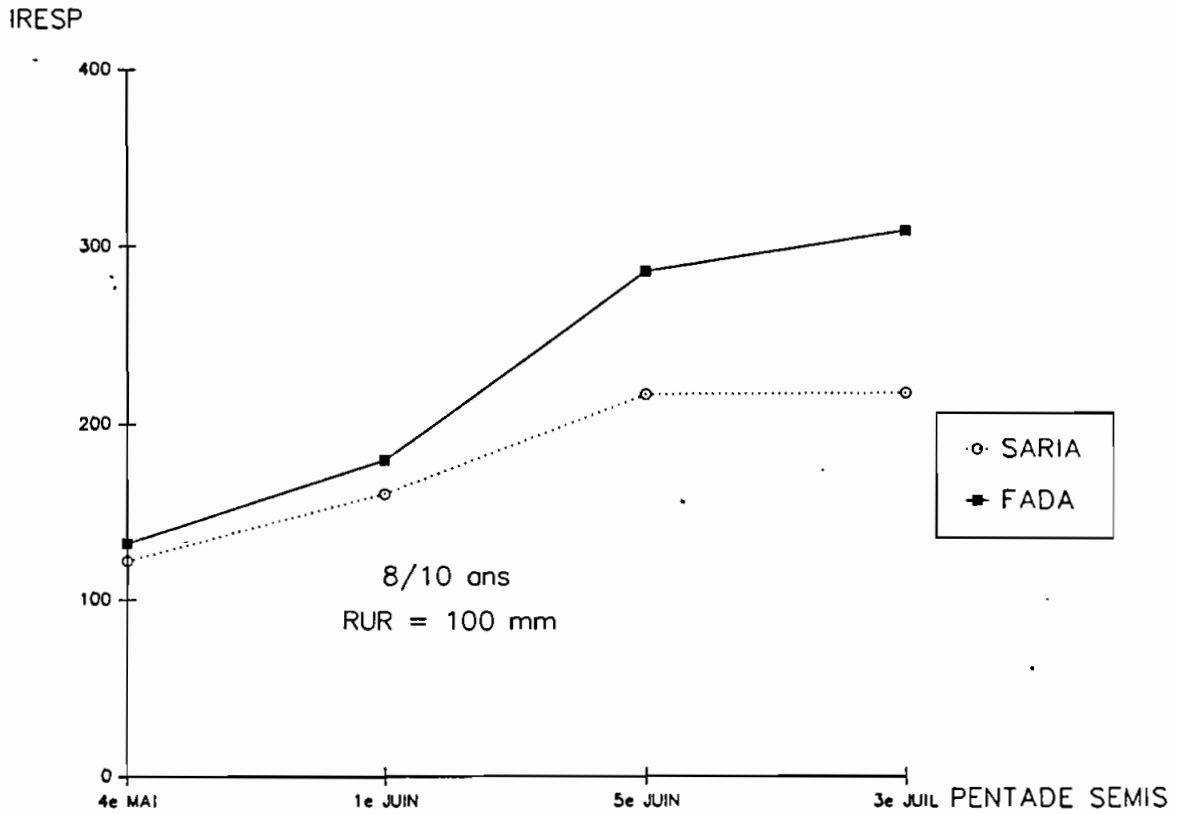
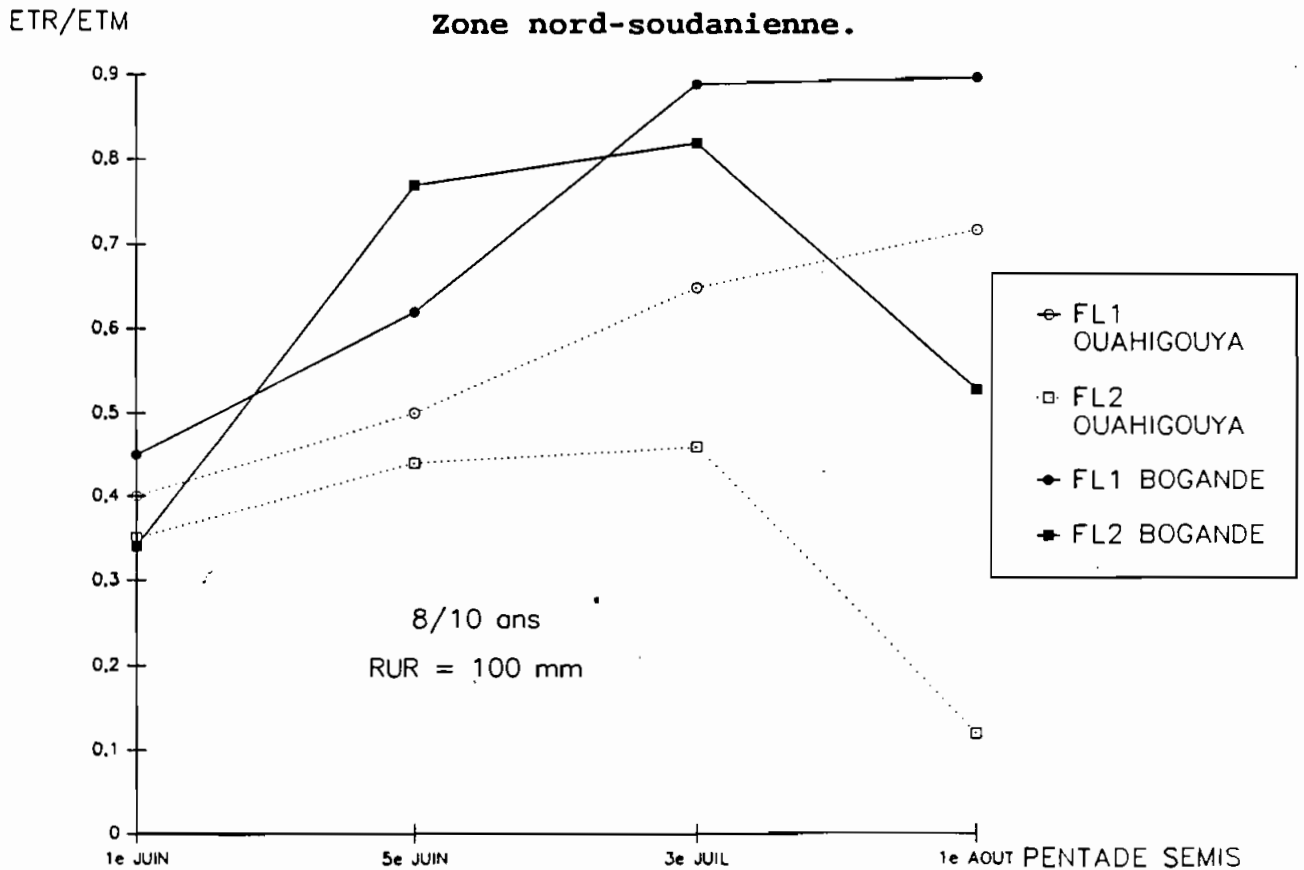


Figure 23-24 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs 90 jours - zone nord-soudanienne.



**Figure 23-25 : Indices de rendement espéré du maïs 90 jours
Zone nord-soudanienne.**



**Figure 23-26 : Indices de satisfaction des besoins en eau
aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs 90 jours - zone sahélienne.**

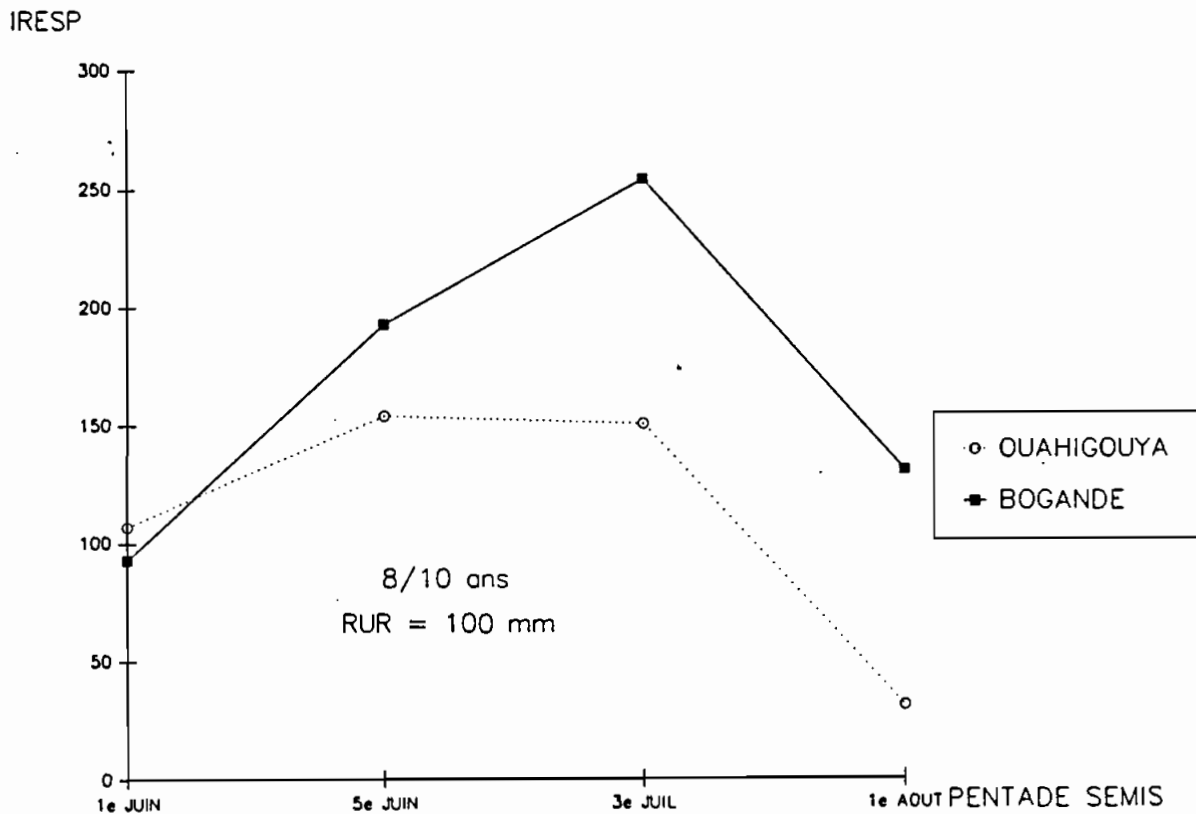


Figure 23-27 : Indices de rendement espéré du maïs 90 jours
Zone sahélienne.

b. Indices du rendement espéré

Dans le reste du pays, les indices du rendement espéré 8/10 années sont faibles (≤ 300) même quand la culture présente un bon niveau d'alimentation hydrique à la phase critique, comme c'est le cas à Fada N'Gourma.

Les faibles valeurs d'indices du rendement espéré à Ouahigouya quelle que soit la date de semis, montrent que le maïs est encore moins adapté que le sorgho dans cette zone. Sa culture est actuellement très localisée dans la région et il faudrait lui apporter une irrigation de complément pour garantir un rendement acceptable.

2.2.3. Zonage des indices du rendement espéré du maïs

a. Zonage par rapport aux dates de semis

Si les semis du maïs sont effectués très précocement par rapport aux dates favorables de semis déterminées dans chaque zone, on obtient 8/10 années des indices du rendement très faibles et irréguliers entre station à l'intérieur de la même zone agroclimatique. Ce qui rend aléatoire toute interpolation de ces valeurs (carte n°19).

Par contre les semis tardifs se comportent mieux (carte n°20) même si les indices de rendement espérés sont plus faibles que ceux obtenus pour des semis aux dates favorables (carte n°21).

b. Zonage par rapport à la réserve utile

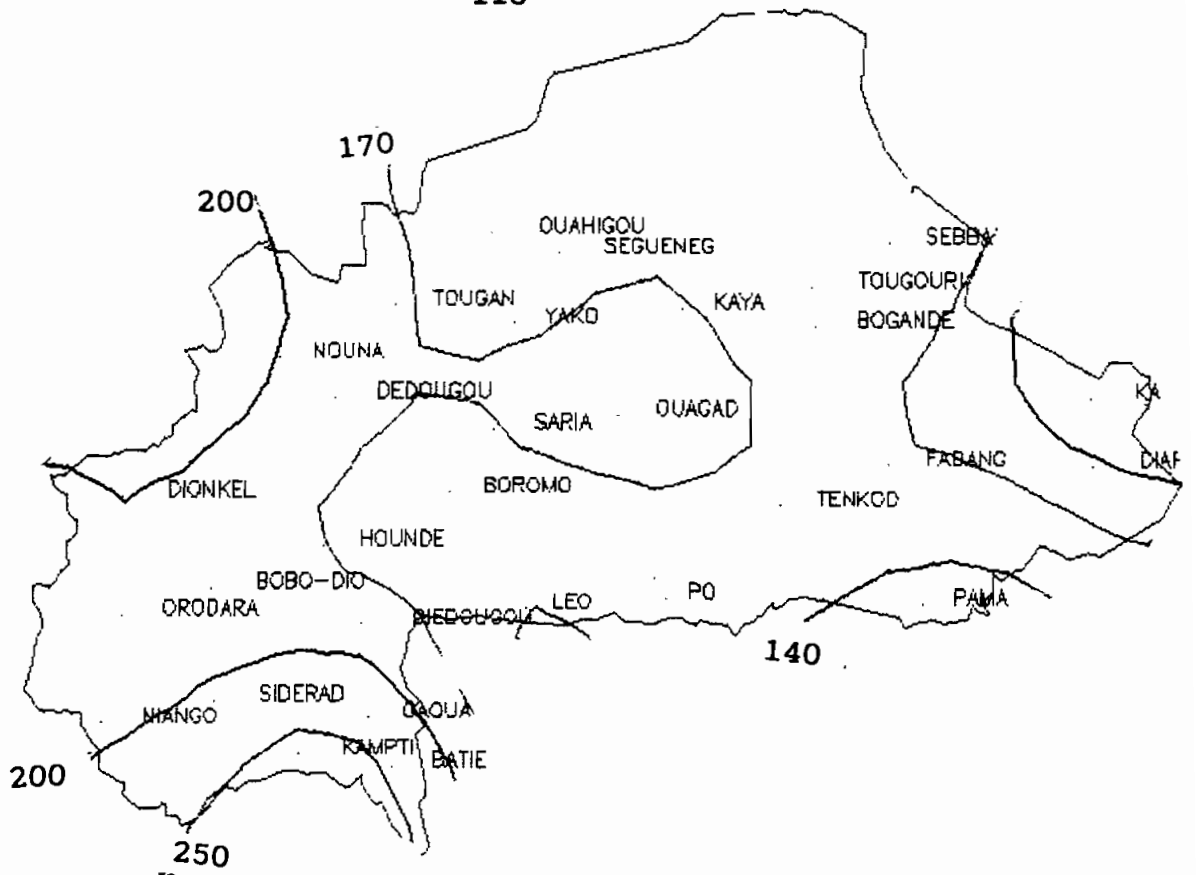
Le maïs met mieux en évidence un effet de la RU que le sorgho et le mil (cartes 21, 22, et 23).

L'hypothèse de la RUR = 150 mm donne pourtant des indices de rendement espéré plus élevés que les deux autres hypothèses.

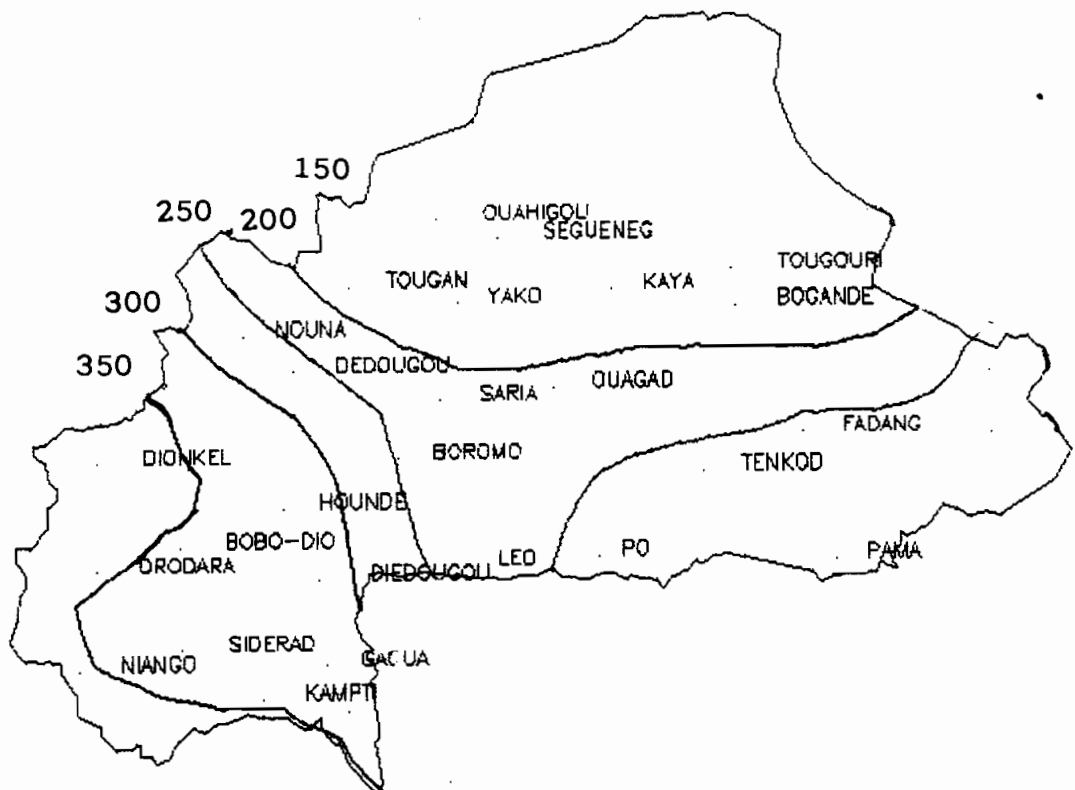
Ce qui correspond à la réalité du terrain où le maïs est toujours semé dans les meilleures terres (bas-fonds et champs de case).

En revanche il n'y a pas de grandes différences entre la RUR = 50 mm et celle de 100 mm, notamment dans la zone limite de culture du maïs.

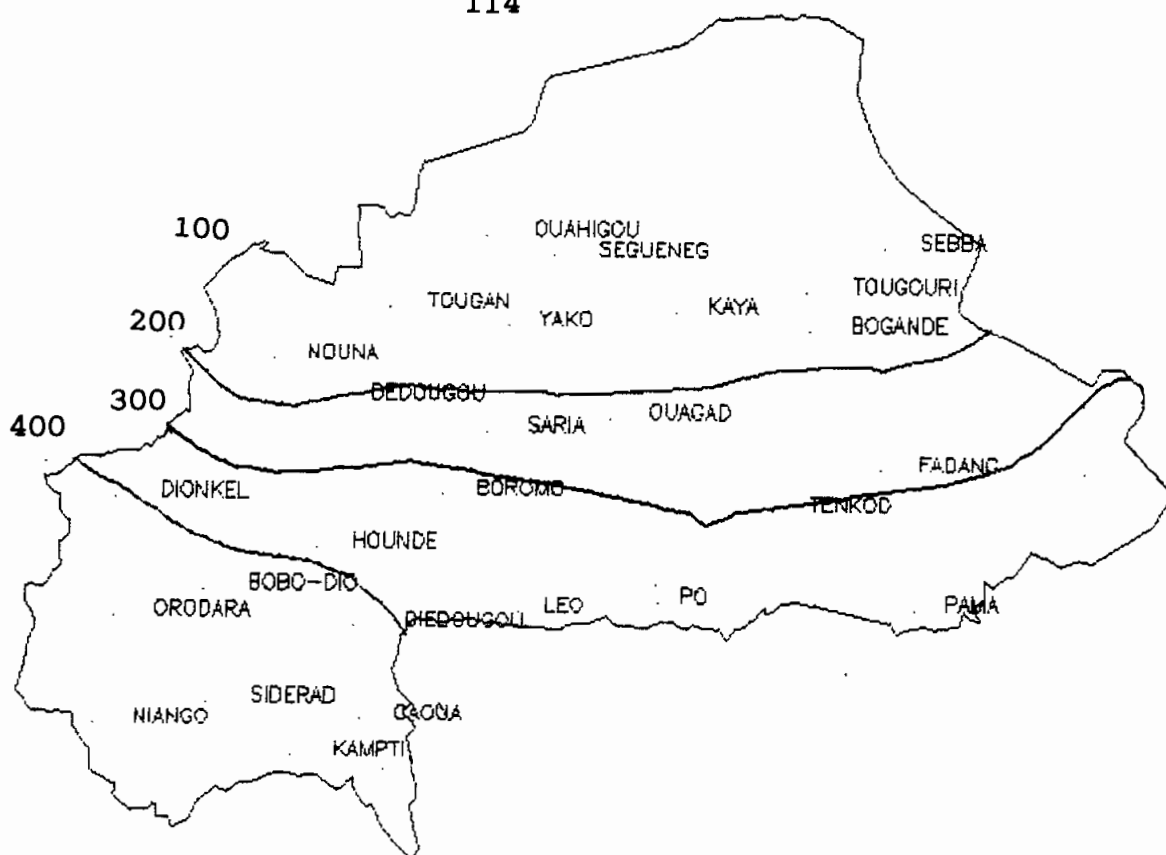
On pourrait alors penser à l'effet négatif des excès d'eau temporaires. Mais en réalité, comme on ne sème pratiquement pas du maïs dans les champs en haut ou au milieu de la toposéquence correspondant à la RU = 50 mm, nous n'avons pas étudié ces phénomènes de drainage.



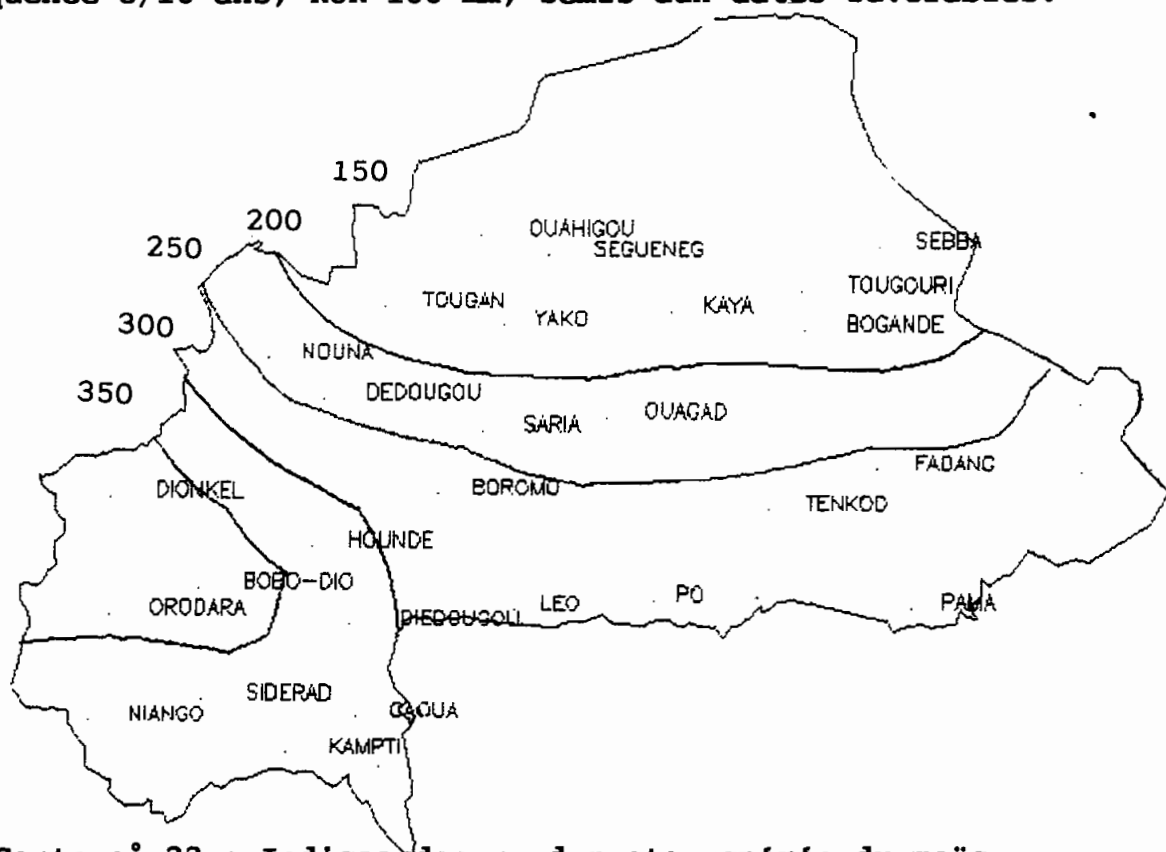
**Carte n° 19 : Indices des rendements espérés du maïs
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces.**



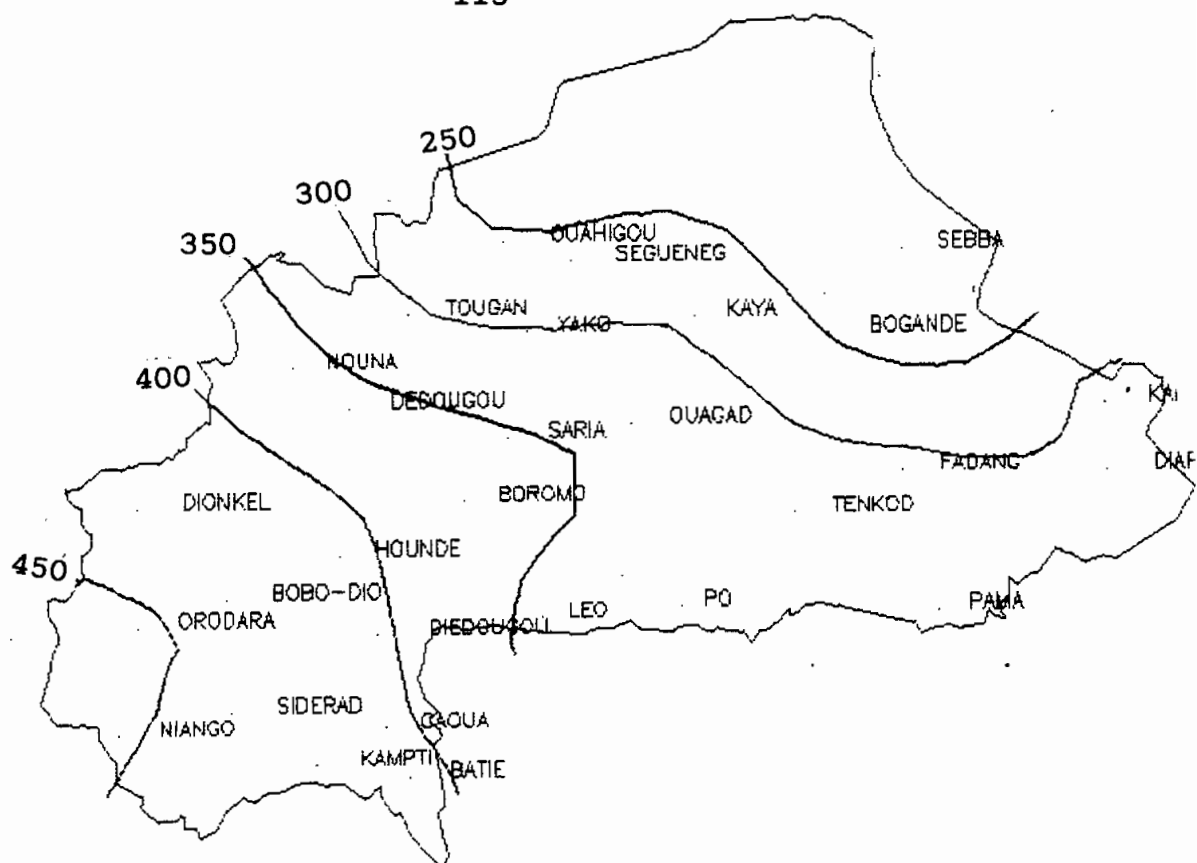
**Carte n° 20 : Indices des rendements espérés du maïs
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis tardifs.**



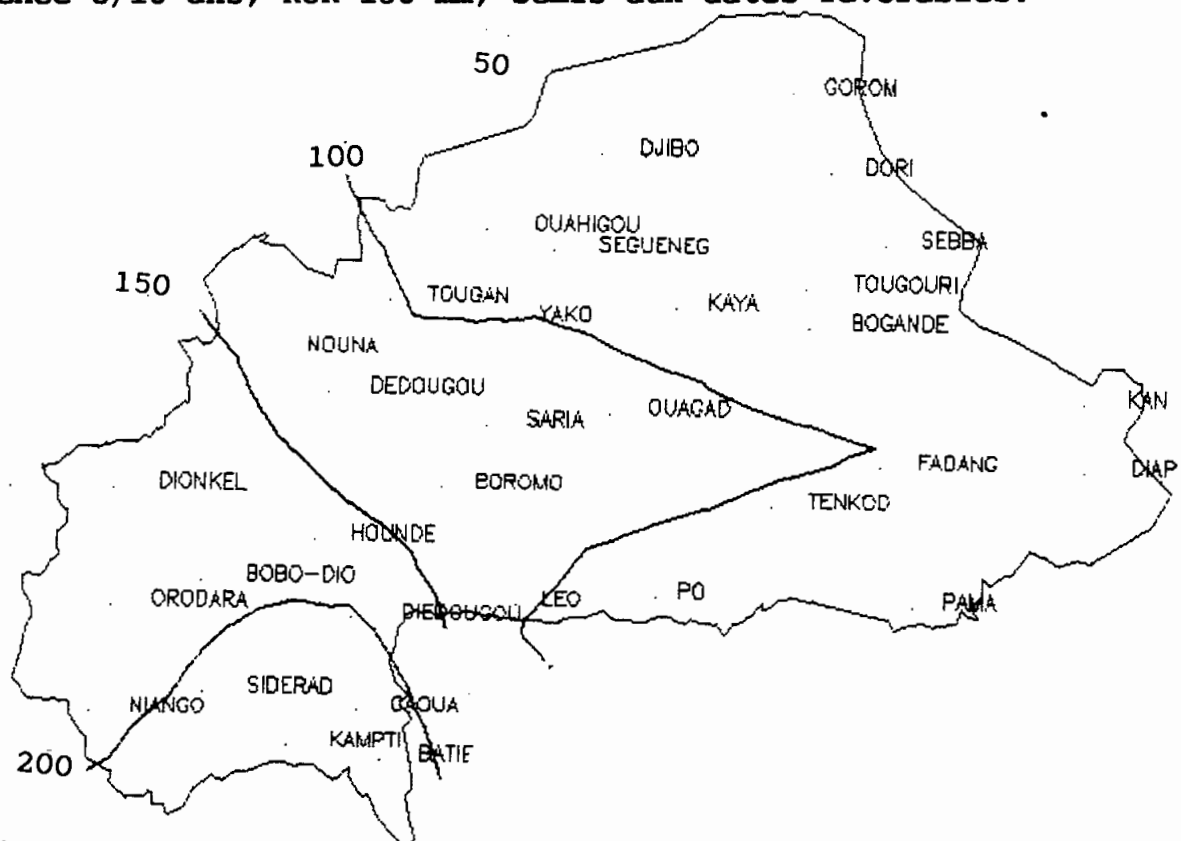
**Carte n° 21 : Indices des rendements espérés du maïs
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 22 : Indices des rendements espérés du maïs
Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 23 : Indices des rendements espérés du maïs
Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 24 : Indices des rendements espérés du mil
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces.**

2.2.4. Conclusion sur le zonage du maïs

Contrairement aux sorghos, les variétés améliorées de maïs actuellement recommandées sont, du point de vue de leur cycle (110 à 130 jours) plus adaptées aux conditions agropédoclimatiques de la zone sud-soudanienne.

Les variétés précoces ne sont pas adaptées dans cette région où 8/10 années ils ont des indices de rendement espérés faibles même pour les semis de la première quinzaine de Juillet. Ces variétés sont à réserver au reste du pays où la culture du maïs, même marginale, peut encore donner de bons rendements et particulièrement à l'Est dans les sols profonds RUR = 150 mm et surtout si on apporte une irrigation de complément.

2.3. Zonage du mil pennisétum

Nous n'avons pas étudié par zone le comportement de plusieurs variétés de mil car en réalité on a en fait affaire à des populations compte tenu du mode de pollinisation au niveau de cette plante allogame. Le mil plus rustique que les deux autres céréales s'adapte plus facilement aux variations des conditions pluviométriques, au détriment de son potentiel de rendement absolu.

Il existe dans les populations traditionnelles des mils à cycle très court (70 à 75 jours) que l'on sème en association avec les autres cultures et qui est récolté en Août début Septembre en période de soudure. C'est le cas par exemple du "NAATA", nom local donné à ce type de mil dans le Yatenga.

2.3.1. Satisfaction des besoins en eau du mil

La figure 23-28 montre qu'un mil de 120 jours semé entre la 5ème pentade de Mai et la fin Juin à Niangoloko comme à Bobo-Dioulasso ne souffre pas de manque d'eau à la période critique 8/10 années. Pour des variétés non photopériodiques si les semis ont lieu avant la 4ème pentade de Mai, les plantes souffriront de manque d'eau au moment de l'épiaison et floraison. En revanche si les semis sont effectués après le mois de Juin, c'est à la phase FL2 que le mil risque de subir un déficit hydrique important.

Dans ce cas on doit envisager des techniques d'économie de l'eau telles que les billons cloisonnés.

Nous avons simulé le comportement d'un mil de 90 jours dans les zones nord-soudanienne et sahélienne.

Les figures 23-30 et 23-32 montrent du point de vue de la satisfaction des besoins en eau, aux périodes critiques, le même effet géographique que pour les deux autres céréales entre l'Est (Fada et Bogandé), le Centre (Saria) et le Nord-Ouest (Ouahigouya).

A Fada, les besoins en eau du mil sont satisfaits quand les semis ont lieu entre la 5ème pentade de Juin et la 3ème de Juillet tandis qu'à Bogandé la période favorable de semis se limite aux 15 premiers jours de Juillet.

Par contre à Saria et à ouahigouya, quelle que soit la date de semis, le mil subit un déficit hydrique plus de 8/10 années à la période critique.

2.3.2. Indices du rendement espéré du mil

Au niveau d'une même zone agroclimatique, les indices du rendement espéré varient dans une proportion de 1 à plus de 2 selon la période de semis (fig. 23-29, 23-31, 23-33).

L'effet de la situation géographique a un rôle important sur les indices du rendement.

Les semis précoces donnent des indices du rendement très faibles et irréguliers. Les lignes d'isovaleurs obtenues par interpolation ne recourent pas celles du "zonage de base" (carte n°24).

Site	Cycle jours	Indice	Rendement* espéré
		$\text{ETR}(\text{cycle}) \times \frac{\text{ETR pc}}{\text{ETM}}$	kg/ha
Bobo	120	200	80
		432	560
Saria	90	100	0
		218	200
Ouahigouya	90	82	0
		155	120

* Rendements calculés selon la formule :

$$\text{RDT} = \frac{\text{ETR}(\text{cycle})}{\text{ETM}} \times \frac{\text{ETR pc}}{\text{ETM}} - 200$$

proposée pour le Niger.

Tableau 23-6 : Valeurs approximatives des rendements espérés du mil dans 3 sites du Burkina Faso

ETR/ETM

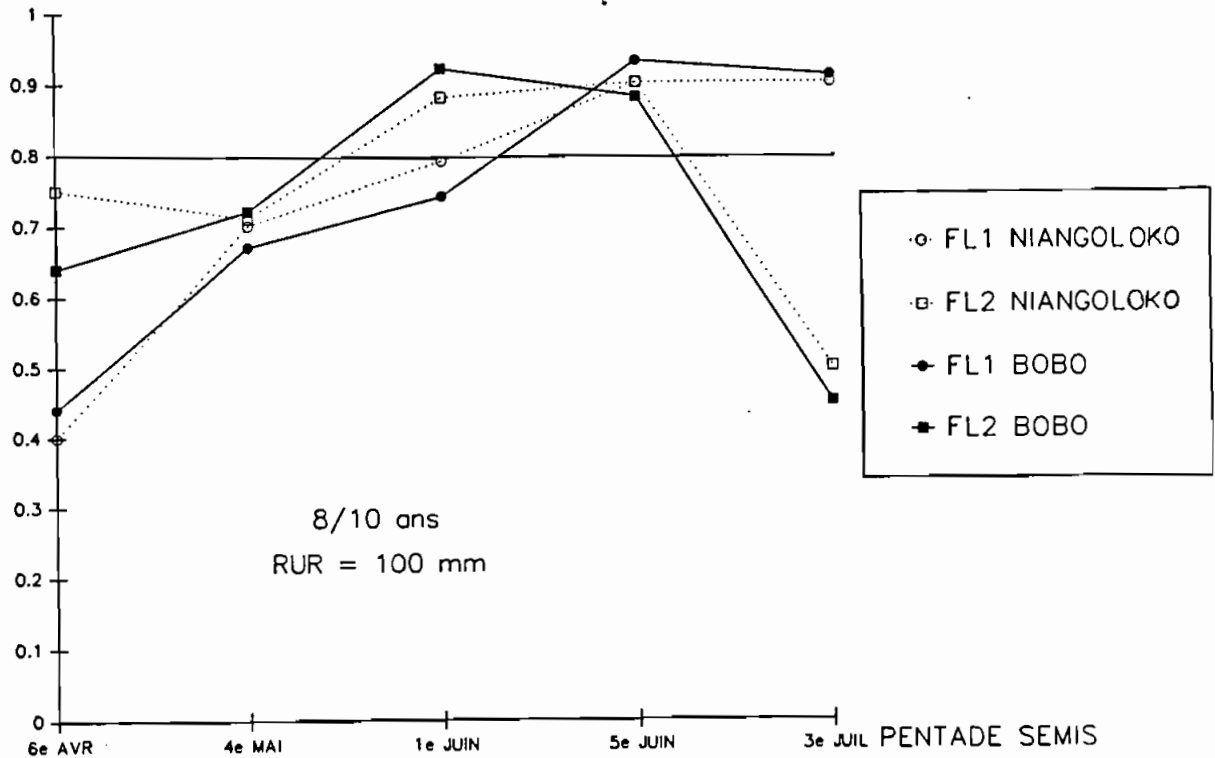


Figure 23-28 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du mil 120 jours - zone sud-soudanienne.

IRESP

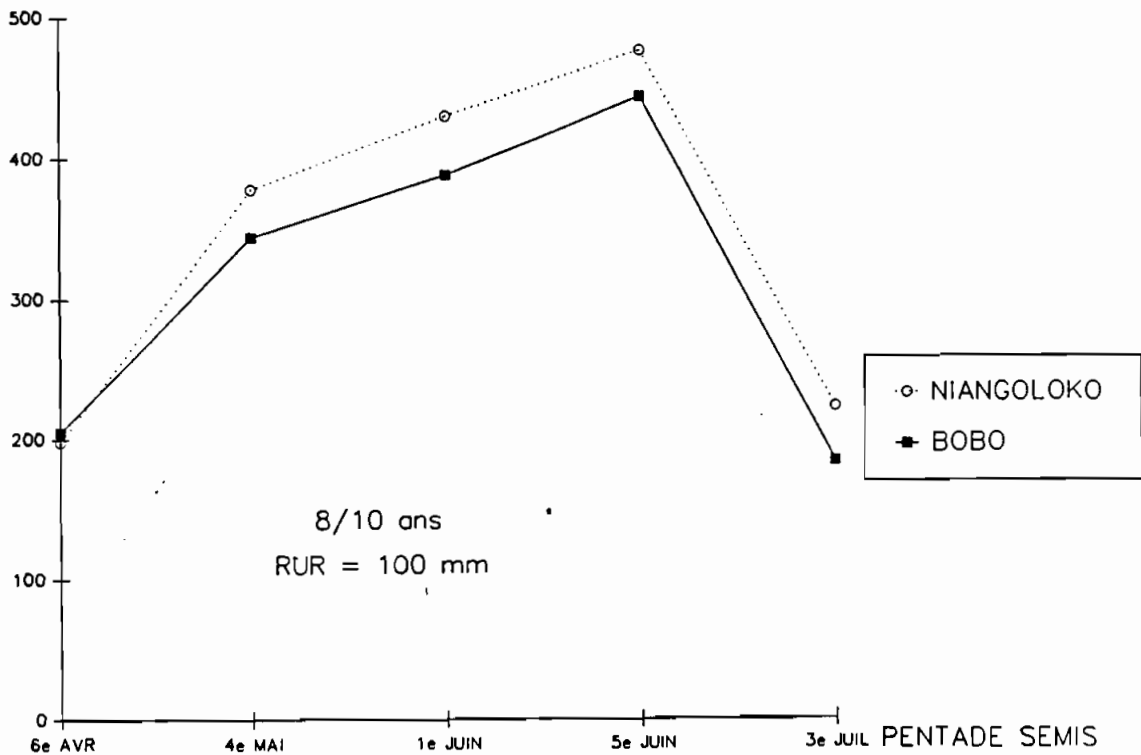


Figure 23-29 : Indices de rendement espéré du mil 120 jours Zone sud-soudanienne.

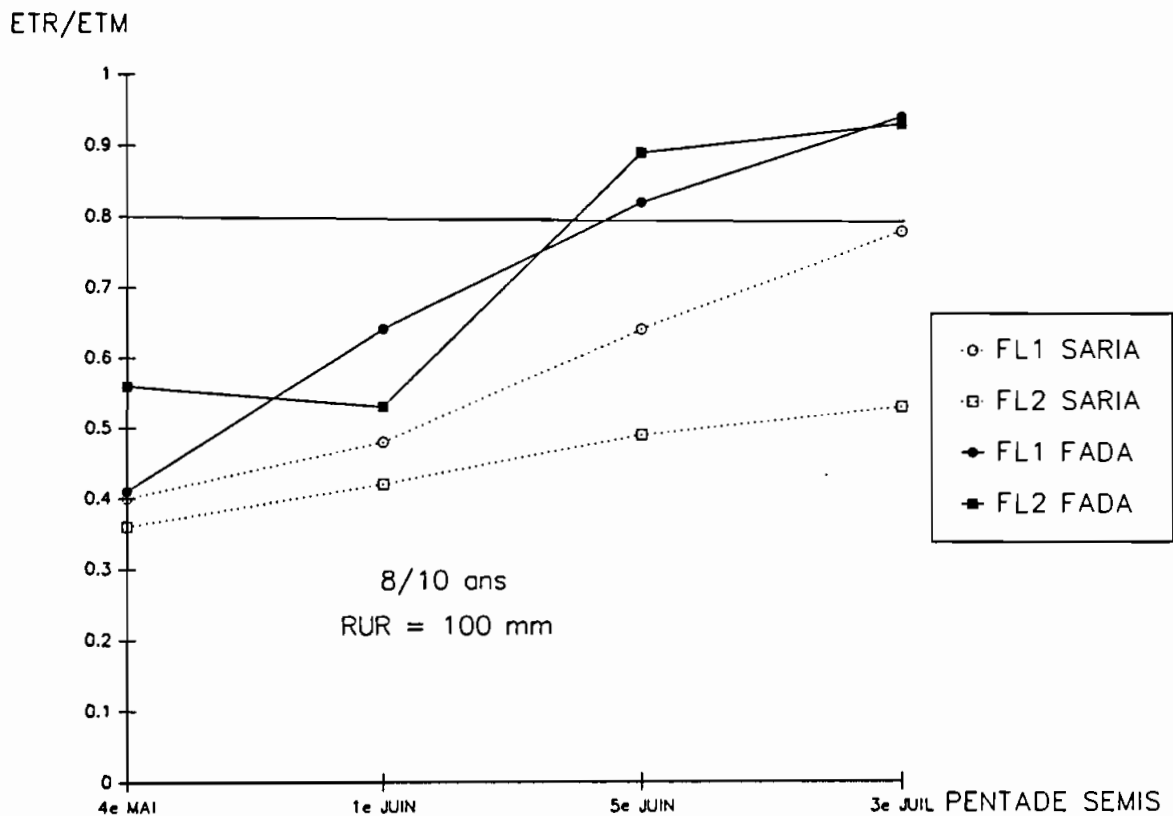


Figure 23-30 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du mil 90 jours - zone nord-soudanienne.

IRESP

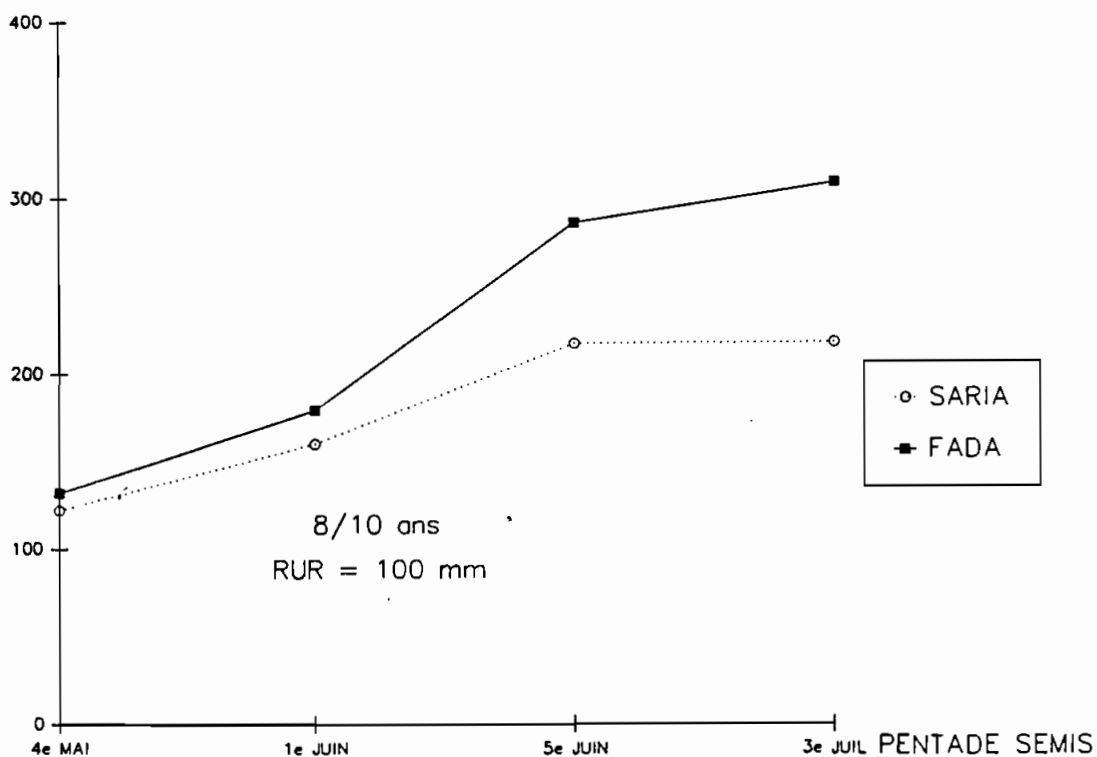


Figure 23-31 : Indices de rendement espéré du mil 90 jours Zone nord-soudanienne.

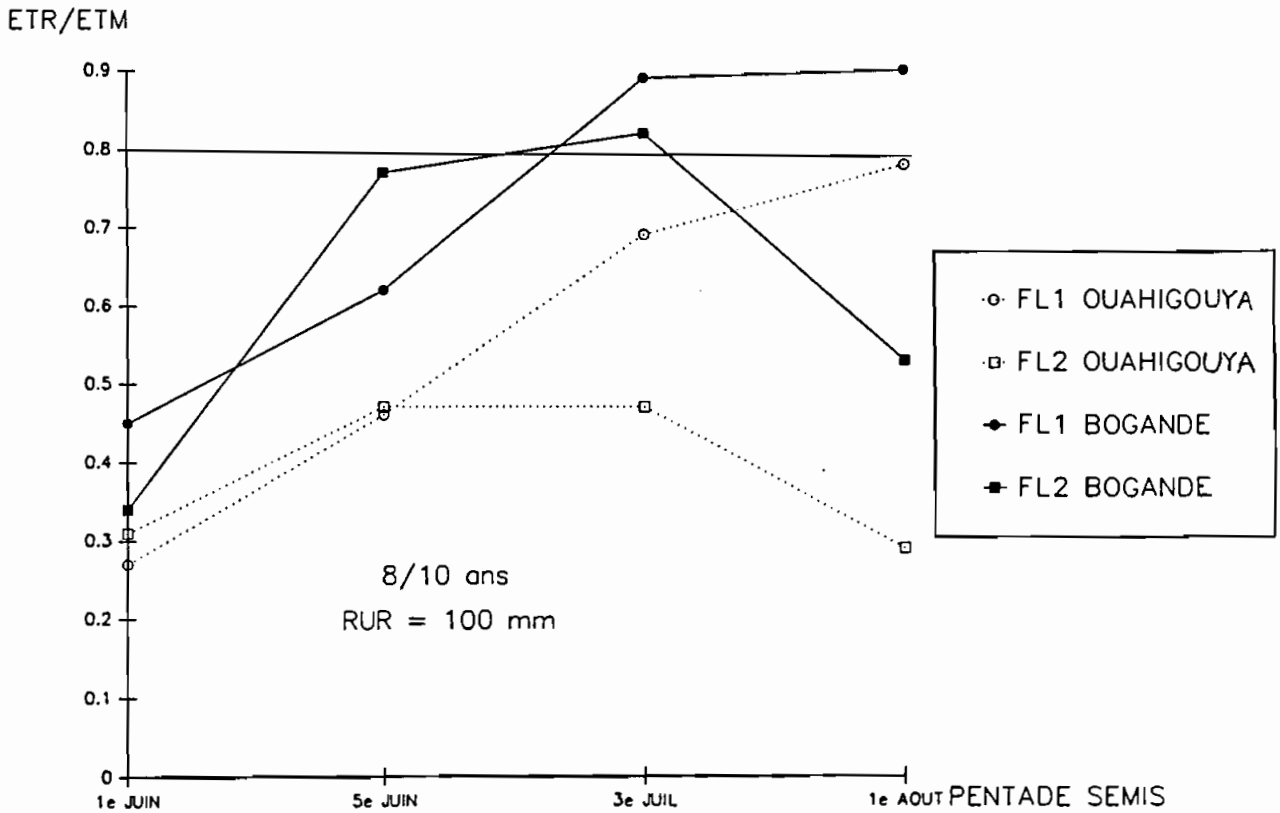


Figure 23-32 : Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du mil 90 jours - zone sahélienne.

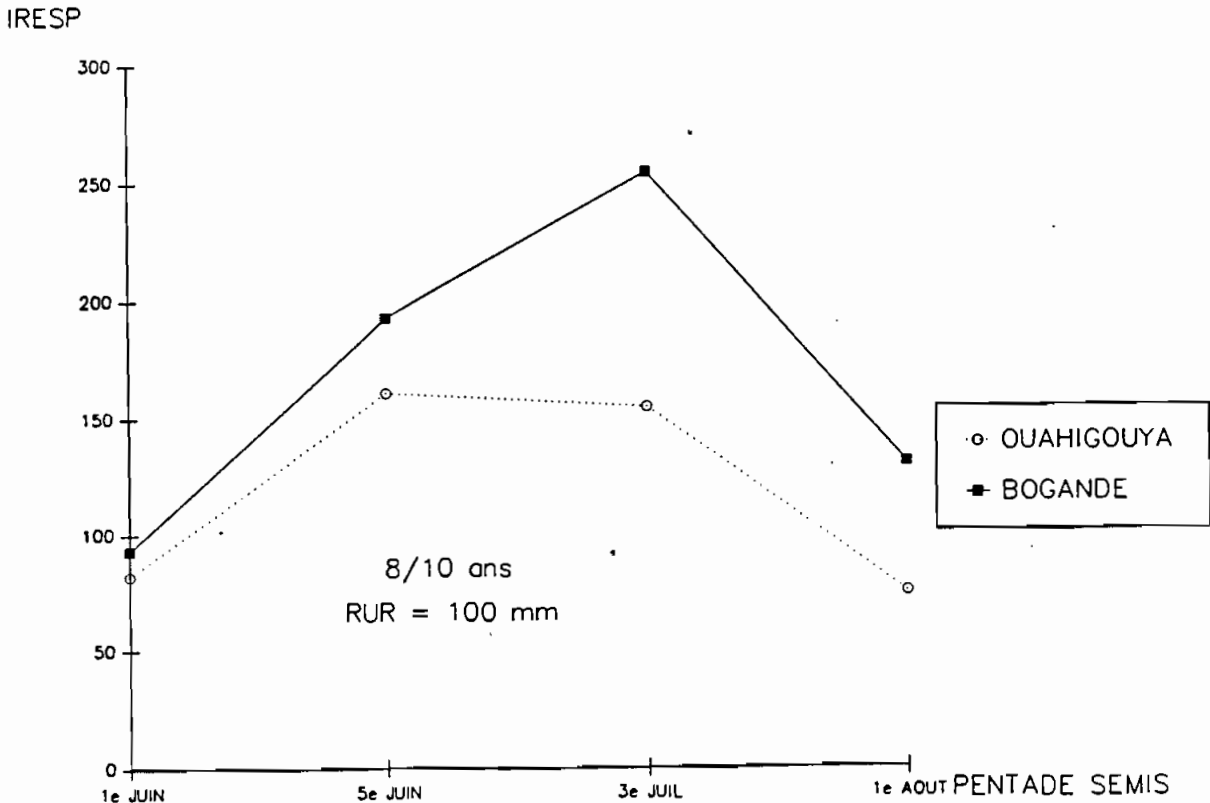
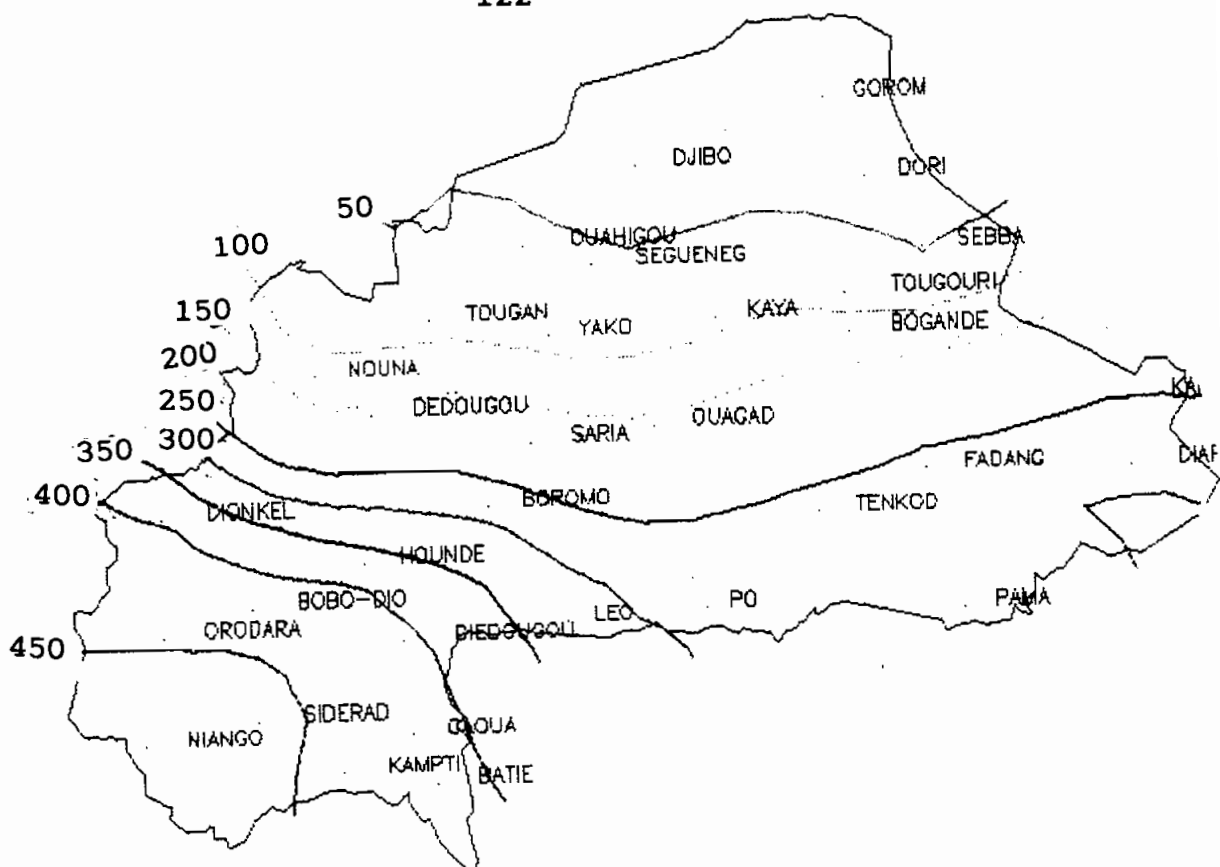
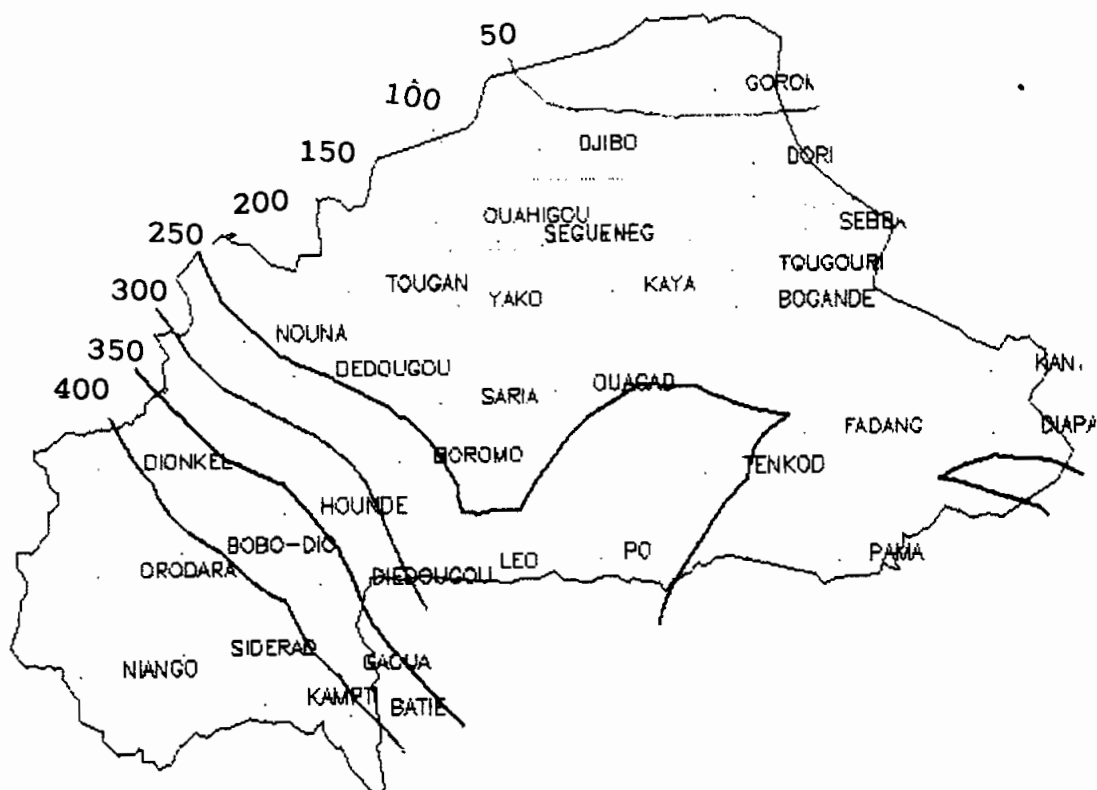


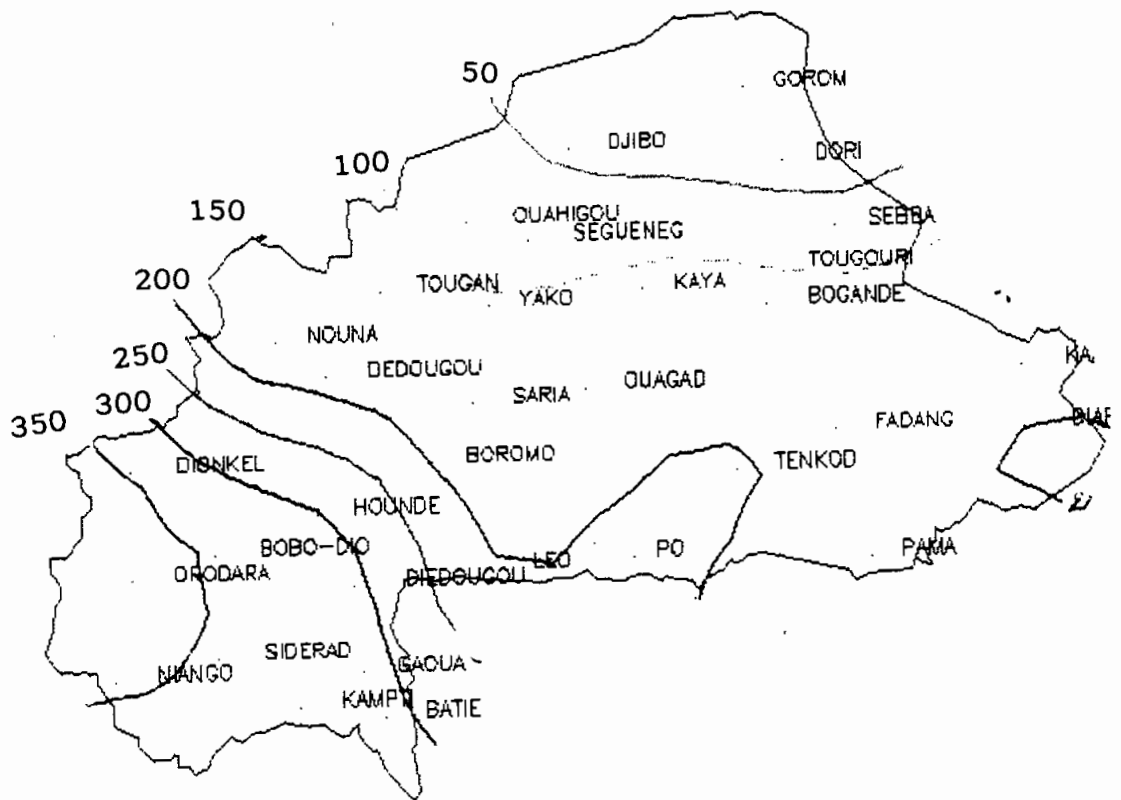
Figure 23-33 : Indices de rendement espéré du mil 90 jours Zone sahélienne.



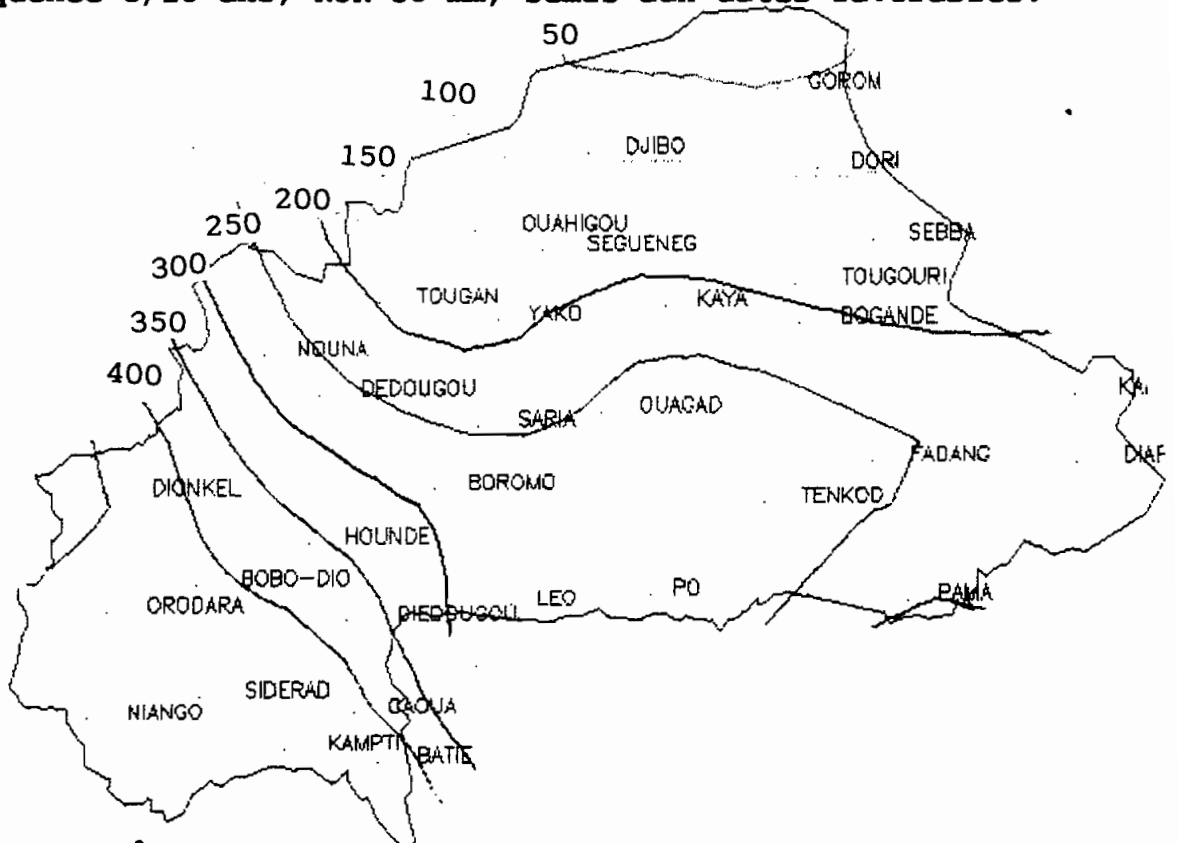
**Carte n° 25 : Indices des rendements espérés du mil
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis tardifs.**



**Carte n° 26 : Indices des rendements espérés du mil
Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 27 : Indices des rendements espérés du mil
Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables.**



**Carte n° 28 : Indices des rendements espérés du mil
Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables.**

En revanche, quand les semis ont lieu postérieurement aux dates favorables déterminées par le "zonage de base", les indices de rendement deviennent plus réguliers (carte n°25) ; ils sont à peu près les mêmes que celles des semis aux dates favorables particulièrement au niveau de la zone sud-soudanienne. Par contre dans le reste du pays, les écarts montrent qu'il vaut mieux respecter les dates favorables de semis (carte n°26). Par rapport au niveau de la Réserve Utile Racinaire, le mil a le même comportement que le sorgho (carte n° 26, 27, 28) :

- différences notables entre la RUR = 50 mm et la RUR = 100 mm
- pas de différence entre celle-ci et la RUR = 150 mm.

Les rendements espérés sont plus faibles que les valeurs moyennes estimées dans chaque zone. Ceux de Ouahigouya correspondent cependant à ceux qu'on récolte quelques fois dans les parcelles travaillées à la houe traditionnelle comme le fait le paysan (cf. chapitre V).

2.4. Conclusion sur le zonage par culture

L'étude a permis de déterminer au niveau de chaque zone agroclimatique :

- les périodes optimales de semis de chaque culture pour que ses besoins en eau soient satisfaits au moins à 80% 8/10 années,
- pour les sorghos et les maïs, les variétés définies par la longueur de leur cycle actuellement les mieux adaptées.

Le zonage fait apparaître au niveau des trois céréales :

- une diminution des indices du rendement espéré avec l'accroissement de la latitude, mais aussi de la longitude quand on se déplace d'Est en Ouest. L'effet longitude s'estompe généralement dans la zone septentrionale du pays.

- un accroissement des indices de rendement bien corrélé à l'augmentation de la réserve utile racinaire. Le maïs répond mieux que le mil et le sorgho à la RUR de 150 mm.

- les semis très précoces par rapport aux dates favorables de semis déterminées par le "zonage de base" donnent des indices de rendement faibles et irréguliers. En revanche des semis postérieurs à ces dates optimales, affectent peu les rendements espérés.

Il faudrait donc obtenir que les agriculteurs réalisent des travaux de préparation de sol (labour, scarifiage en humide etc...) plutôt que des semis dès les premières pluies comme c'est le cas actuellement. Quand celles-ci ne coïncident pas bien évidemment avec les dates favorables de semis. Les variétés photopériodiques de sorgho et mil généralement utilisées par le paysan, permettent, en semis précoces d'avoir quand même une certaine production, mais les rendements sont plus faibles que ceux qu'on peut espérer avec des semis en période favorable.

Toutes choses étant égales par ailleurs, les variations des courbes d'isovaleurs des indices du rendement espéré obtenues au Burkina Faso sont identiques à celles des courbes d'isovaleurs des rendements pour les mêmes cultures au Mali (VALET et al 1988), notamment dans les zones nord-soudanienne et sud-sahélienne qui apparaissent les plus "déstabilisées et fragilisées" par la sécheresse actuelle.

Malgré les insuffisances du modèle qui ne prend pas en compte d'une part les variations du seuil et du coefficient du ruissellement en fonction du développement du couvert végétal et d'autre part la dynamique du front racinaire dans la RUR, on arrive à des résultats qui expliquent le comportement de ces cultures actuellement observé sur le terrain.

Une nouvelle version du modèle de bilan hydrique (BIPRAC) qui corrige les insuffisances de BIPZON sera utilisée pour expliquer les rendements des essais agronomiques.

Ensuite, dans une étude ultérieure à ce mémoire le zonage par culture pourra être repris en utilisant cette version améliorée du modèle de simulation et en utilisant les rendements réellement obtenus au niveau de chaque zone agropédoclimatique du Burkina Faso.

CHAPITRE IV :**LE CONTEXTE DE L'ETUDE EXPERIMENTALE.****INTRODUCTION :**

Nous avons mis en place plusieurs séries d'expérimentations agronomiques pour étudier les stratégies permettant d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures au cours de leur cycle de développement.

Les essais n'ayant pas tous les mêmes dispositifs et méthodes de suivi, nous présenterons dans ce chapitre uniquement, les matériels et méthodes communs. Les méthodes d'expérimentation particulières à chaque série d'essais seront présentées avant l'analyse des résultats.

Mais auparavant, il est nécessaire de préciser le cadre institutionnel et les conditions pédoclimatiques des sites dans lesquels ont eu lieu les expérimentations.

1. PRESENTATION GENERALE DES RECHERCHES CONDUITES**1.1. Les essais sur les techniques d'économie de l'eau basée uniquement sur le travail du sol en humide**

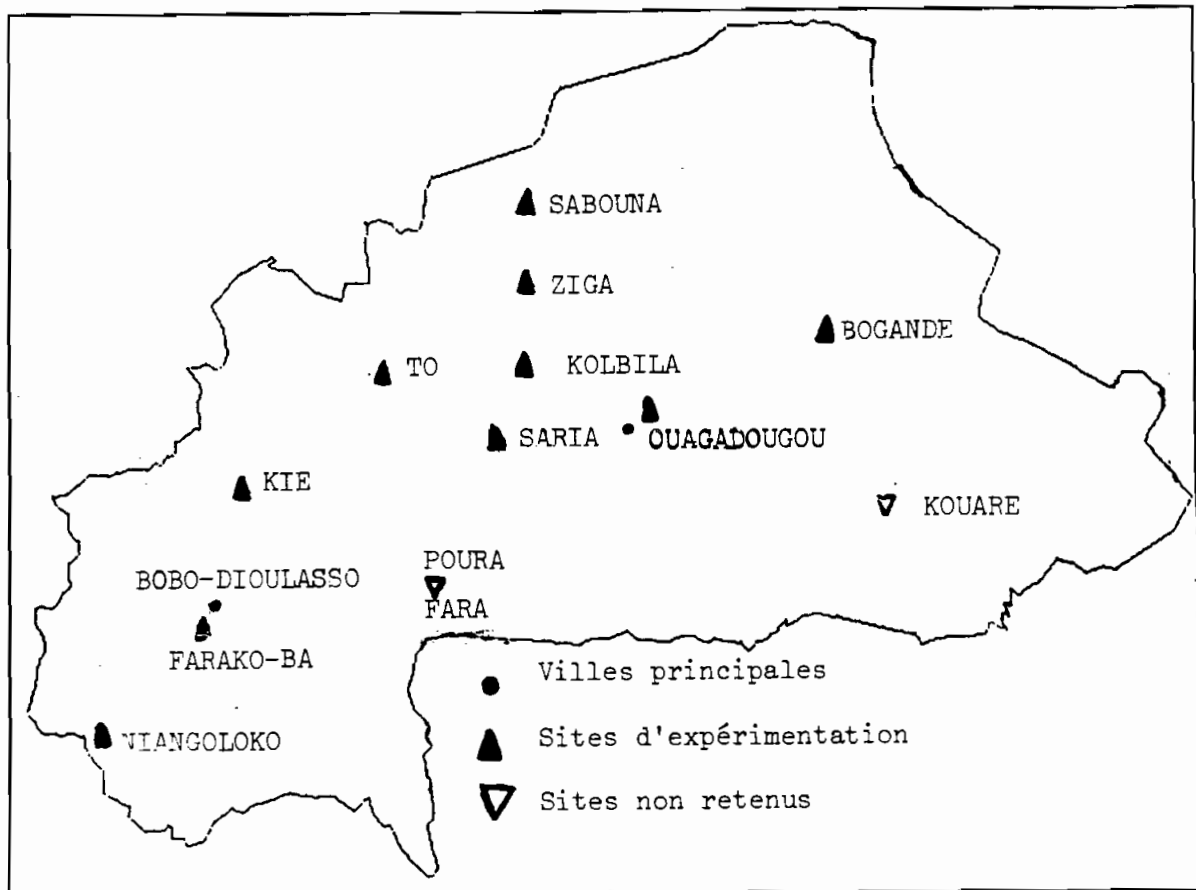
Commencés en 1982, les essais "économie de l'eau" ont progressivement concerné 13 localités du pays dont :

- 5 stations de recherches agricoles : Gampéla (gérée par l'Institut du Développement Rural de l'Université de Ouagadougou) ; Saria, Kouaré, Farako-Ba et Niangoloko (actuellement gérées par l'INERA).

- 5 points d'appui, de pré vulgarisation et d'expérimentation multilocale (PAPEM) : Bogandé, Kolbila, Tô, Kassou et Kie.

- 4 villages où étaient exécutés des projets de recherche-développement : Sabouna, Ziga, Fara et Poura.

Les PAPEM appartiennent aux Centres Régionaux de Promotion Agropastorale (CRPA). Ils servent dans chaque région de relais entre les stations de recherches agronomiques et le milieu paysan.



Carte n° 29 : Répartition des sites d'expérimentation.

A chaque début de campagne agricole (avril-mai) les protocoles d'expérimentations proposés par les chercheurs sont discutés et adoptés par les autorités du CRPA puis remis au responsable du PAPEM ou au Chef du Projet de Recherche-Développement, chargé de la conduite de tous les essais et tests agronomiques. Le choix de tel ou tel essai proposé par la recherche voire des traitements, dépend hélas très souvent, des moyens budgétaires et humains du CRPA ou du Projet plutôt que des problèmes du développement agricole de la région.

Nous n'avons donc pas toujours eu une liberté totale du choix des sites et des dispositifs des expérimentations agronomiques. Ceci explique l'inégale répartition des sites dans le pays. Néanmoins, toutes les grandes zones agroclimatiques précédemment décrites sont représentées (carte n°29) à l'exception de la région la plus septentrionale de la zone sahélienne.

1.2. Les essais comportant l'irrigation de complément

Les essais comportant une irrigation de complément ont été conduits.

- en ce qui concerne le site de Sabouna, dans le cadre d'un Projet de Recherche-Développement associant l'INERA, le DSA-CIRAD et l'ancien ORD du Yatenga.

- pour le site de Saria, nous avons bénéficié d'un appui financier de la Fondation Internationale pour la Science (FIS).

1.3. Les essais de travail du sol en sec

L'étude sur le travail du sol en sec a été menée dans le cadre d'un projet de recherche financé par la CEE et associant l'INERA, et le CEEMAT-CIRAD avec un appui scientifique de l'ENSAM.

1.4. L'ensemble du programme de recherche "économie de l'eau"

Mis en place à son début dans le cadre du programme "agronomie" de l'IRAT, ce programme est depuis la restructuration de la recherche agronomique nationale en 1984, intégré au Programme Eau-Sol-Fertilisation-Irrigation-Machinisme Agricole (ESFIMA) de l'INERA.

2. CONTEXTE AGROPEDOCLIMATIQUE DES SITES DES ESSAIS

2.1. Les sites de la zone sud-soudanienne

Niangoloko, Faroko-Ba et Kié sont situés respectivement au sud-ouest, au centre et au nord de la zone sud-soudanienne.

2.1.1. Les sols

A Niangoloko, l'essai a été réalisé sur un sol ferrugineux lessivé sur matériau sableux (cf. carte n°8, p. 41). Le sol est sableux (moins de 10 % d'argile + limon) jusqu'à 60 cm de profondeur. La réserve utile (RU) est inférieure à 60 mm par mètre (annexe 2a).

A Farako-Ba, l'essai est placé sur un sol rouge faiblement ferrallitique. Ces sols au profil homogène se développent sur roches gréseuses. Ils sont profonds, de 3 à 7 m (JENNY, 1964) et présentent de rares concrétions ferrugineuses. De texture sableuse fine, ils n'ont pratiquement pas d'éléments grossiers (annexe 2b). Le PH des horizons superficiels varie entre 6 et 7 en général.

Le potentiel de fertilité naturelle de ces sols est relativement peu élevé : le taux d'azote total des horizons de surface se situe autour de 0,45 %. tandis que celui du phosphore total ne dépasse pas 0,15%. (JENNY op. cité). La réserve en eau du sol du site de l'essai est de 111 mm pour 120 cm de profondeur (annexe 2b).

- Le sol du site de l'essai de Kié a été classé parmi les sols hydromorphes à minéraux à pseudogley sur matériau à texture variée. C'est un sol hydromorphe.

2.1.2. La pluviosité au cours des années d'expérimentation

	Jan- Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov- Déc	TOTAL ANNEE	
KIE	84	123 (8)	55 (7)	234(13)	135 (8)	169(11)	56 (3)	-	773 (50)
	85	56 (8)	160 (7)	238(15)	175(16)	126(11)	10 (4)	-	765 (61)
	86	177(11)	146 (8)	193(10)	309(16)	152(12)	4 (1)	-	981 (47)
FARAKO BA	82	333(21)	216(14)	162(17)	183(16)	219(15)	108 (8)	-	1222 (91)
	83	156 (9)	104 (9)	166(11)	194(12)	131(10)	3 (1)	-	755 (52)
	84	139(13)	102 (8)	121(13)	273(17)	156(12)	13 (7)	7 (3)	810 (73)
	86	182(16)	83 (9)	215(11)	243(15)	167(13)	53 (5)	5 (3)	948 (72)
NIANGO LOKO	84	207(19)	87 (9)	165(12)	184(15)	175(11)	91 (6)	5 (3)	914 (75)
	85	185(13)	214(10)	258(13)	120(15)	158(16)	58 (6)	-	992 (73)
	86	298(14)	106 (7)	193(11)	321(18)	219(13)	69 (6)	16 (2)	1222 (71)

Tableau 24-1 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie (x) des sites d'essai (zone sud-soudanienne)

2.1.2. La pluviosité au cours des années d'expérimentation

La pluviométrie annuelle totale de Niangoloko durant les années d'expérimentation a varié de 865,0 mm en 1983 (inférieure à la valeur atteinte 8/10 années) à 1282,2 mm en 1986, (supérieure à la valeur espérée 2/10 années) soit une différence de 417,2 mm !

Les écarts entre les années les plus pluvieuses et les moins pluvieuses ont été respectivement de 619,3 mm à Farako-Ba et de 216,2 mm à Kie (tableau 24-1).

A cette grande variabilité interannuelle s'ajoute des variations très importantes à l'intérieur d'une même année qui conditionnent surtout la réussite ou non des cultures.

Ainsi à Niangoloko on a pu enregistrer 19 jours consécutifs sans pluie supérieure à 10 mm entre le 7 et le 25 Juin 1984.

Un tel "trou pluviométrique" est catastrophique pour la levée des semis déjà réalisés et ne permet pas de faire les ressemis dans les champs ensemencés aux périodes favorables. Cette année là le même "trou pluviométrique" s'est manifesté aussi sur les autres sites : Farako-Ba 15 jours sans pluies supérieures à 10 mm et pratiquement tout le mois de Juin à Kié.

Cette année là on a enregistré aussi 16 jours successifs sans une pluie importante à Kié à partir du 10 Septembre.

A Farako-Ba, en 1983 il n'y a plus eu une pluie de plus de 10 mm après le 11 Septembre.

En 1982, par contre, 219 mm ont été enregistrés durant le même mois sur cette station dont 4 pluies de plus de 25 mm chacune. Ces pluies sont tombées en 15 jours dans le mois.

Ces variations de la pluviosité peuvent entraîner des réponses différentes de la même technique d'économie de l'eau.

2.2. Les sites d'essai dans la zone nord-soudanienne

L'essai sur les techniques d'économie de l'eau a été conduit en 1985 à Fara et en 1986 à Poura, 10 km plus loin environ sur un type de sol totalement différent.

Les résultats de ces deux essais malheureusement ininterprétables ne seront pas examinés ici. Il en est de même de ceux de Kouaré obtenus uniquement en 1987. Les autres sites dans la zone nord-soudanienne sont donc : Kassou, Saria, Gampéla, To et Kolbila.

2.2.1. Les sols

Les sols de Saria sont assez représentatifs de l'ensemble des sites de la zone (cf. carte n°5, p. 27). Ce sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non avec ou sans la présence de gravillons en surface selon la place du champ sur la toposéquence.

Les sols de la station de Saria ont été étudiés par de nombreux auteurs (JENNY, 1964 ; ARRIVETS, 1973 ; ROOSE et al 1979 ROOSE 1981 ; SEDOGO 1981...).

La figure 24-1 schématise la toposéquence du sol sur laquelle ont été implantés les essais sur les techniques d'économie de l'eau basées sur le travail du sol en humide. La granulométrie et les caractéristiques hydro-pédologiques sont présentées en annexe 2c.

Cette toposéquence part d'un dôme granitique qui domine un long glacis gravillonnaire localement cuirassé avec une pente de 1 à 2 % (ROOSE et al 1979). Le reste de la toposéquence est une plaine de colluvionnement (pente < 1%) où arrivent les éléments de la dégradation du haut de la toposéquence. Ce manteau de recouvrement sableux en surface puis argilo-sableux en profondeur repose sur une carapace compacte, très dure à pénétrer dont la profondeur est déterminante du point de vue agronomique. En haut de la toposéquence où se situe la parcelle n°5 notée P5. Cette carapace (à 30 cm de profondeur) présente plus de fissures permettant au système d'enracinement fasciculé des céréales de descendre en profondeur. Par contre, dans les parcelles 7 et 8 respectivement notées P7 et P8, elle (la carapace) se situe respectivement à 50 cm et à 80 cm, présente moins de fissurations, est plus compacte et devient une cuirasse. Le sol de P8 présente des traces d'hydromorphie de profondeur.

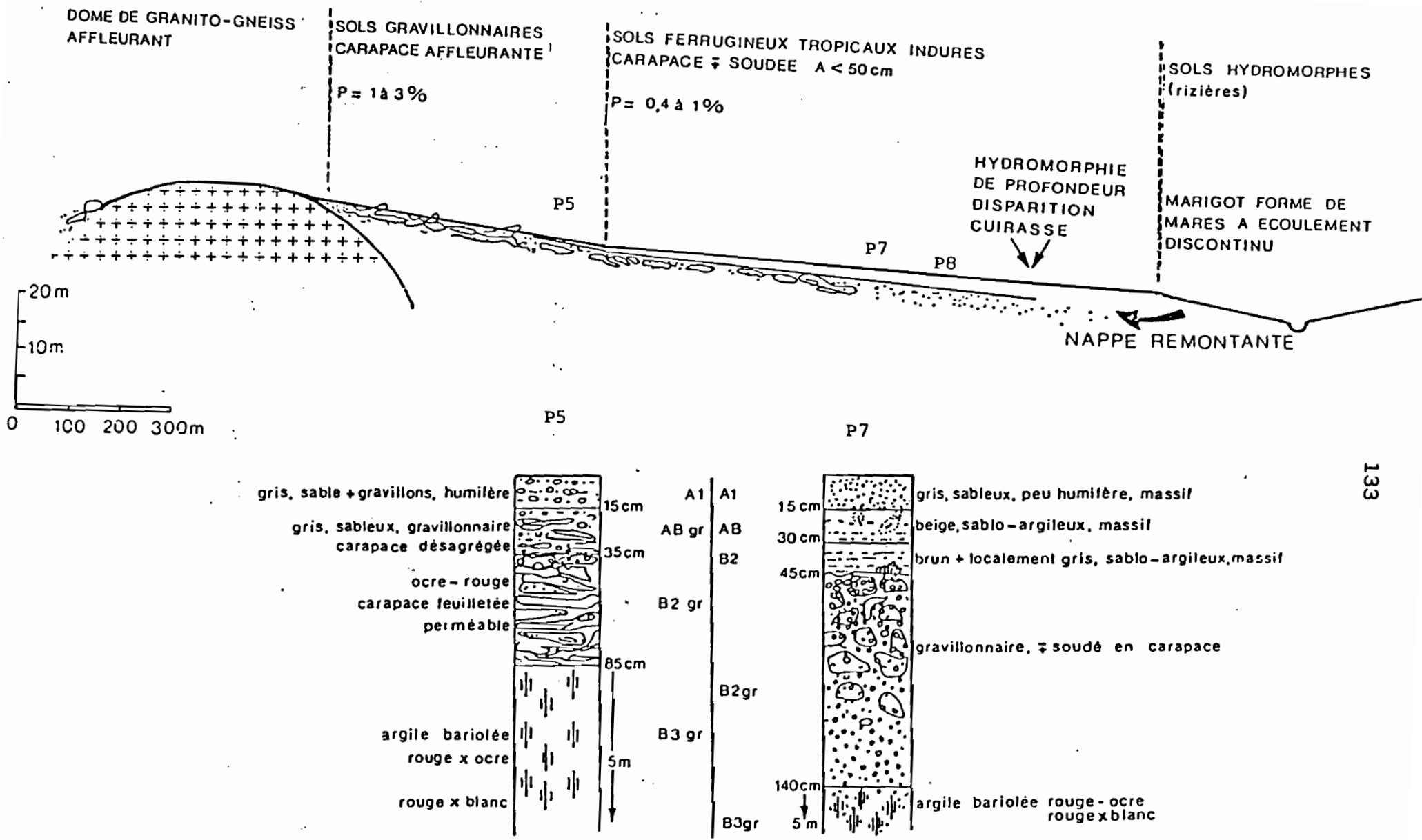


Fig. 24-1 : Schéma de la toposéquence de SARIA (d'après ROOSE et al 1979)

Plus bas cette cuirasse disparaît pour aboutir à un bas-fond. En surface, on a des sols hydromorphes de bas-fond réservés à la riziculture pluviale et au jardinage.

Les sols ferrugineux tropicaux sont pour la plupart carencés en phosphore et ont des teneurs très faibles en matières organiques mais variables en raison de leur hétérogénéité.

Les tableaux 24-2 et 24-3 donnent les principales caractéristiques chimiques de l'horizon 0-20 cm mesurées sur la parcelle 20 qui se situe sur la toposéquence à environ au même niveau que la P7.

La parcelle P5 (Saria Haut) semble du point de vue du sol refléter les sites de To et de Kolbila, tandis que la parcelle P8 (Saria Bas) représente plutôt Kassou et Gampéla. Ces deux derniers sites sont en effet situés vers le bas de la toposéquence.

En monoculture de sorgho, les types de fumure minérale apportée augmentent, à terme, l'acidité de ces sols et l'accumulation de certains ions d'aluminium. Mais cela peut être corrigé par l'application de chaux agricole. Tel fut le cas en 1978 où on a apporté 1,5 t/ha de chaux sur l'essai "Entretien de la Fertilité" de Saria (SEDOGO 1981). L'opération a été renouvelée en 1988.

La réserve utile (RU) varie de 70 mm à 130 mm pour une profondeur de 120 cm (annexe 2c).

Ces sols "prennent en masse" très rapidement dès qu'ils sont soumis à la dessiccation. Les argiles peu gonflantes essentiellement de la kaonilite qui les composent avec une prédominance de sables fins et de limons expliquent ce phénomène (NICOU, 1975 ; TESSIER et PEDRO, 1984).

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'HORIZON DE SURFACE 0-20 cm
(d'après Sedogo, 1981)

pH eau	ELEMENTS TOTAUX							COMPLEXE ABSORBANT en me/100 g					P assimilable ppm	
	C %	N %	C/N	Ca %	Mg %	K %	P ppm	CEC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	taux de saturation %	Olsen	Saunders
6,10	0,35	0,28	12,5	< 0,5	0,31	3,03	121	2,55	1,10	0,30	0,14	61	11	30

TABLEAU 24-2 : Principaux éléments

N total %	Azote soluble dans K ₂ SO ₄ N/2 en ppm				N.S.D.		N.S.n.D.		Nnh	
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NOS	total	mg/kg	% N total	Mg/kg	% Ntotal	Mg/kg	% N total
0,28	84	-	21,7	30,1	83	30	155	55	42	15

TABLEAU 24-3 : Formes et fractions de l'azote

Cet état de la surface du sol est défavorable pour une bonne infiltration et accroît le ruissellement et l'érosion (CASENAVE et VALENTIN, 1988). L'infiltration mesurée à Saria sur une surface dénudée varie de 10 à 20 mm/heure alors que l'intensité de la pluie peut atteindre 120 mm/heure. D'où un ruissellement important notamment au cours des averses (lignes de grains) où le coefficient de ruissellement maximal peut atteindre 70% sur un sol nu (ROOSE 1981).

Les quantités de terres érodées sont importantes. Les valeurs mesurées entre 1971-1974 à Saria s'élèvent respectivement à 20-30t/ha/an sur un sol nu, 5 à 15t/ha/an sous culture de sorgho butté selon la plus grande pente, 0,5t/ha/an sur une jachère abandonnées à l'enherbement naturel et à 100 kg/ha/an sur une très vieille jachère protégée des feux et de toute exploitation (ROOSE et al 1979).

Cela représente des pertes considérables d'éléments fertilisants pour des sols à très faible niveau de fertilité naturelle (tableau 24-4).

C'est sur le même dispositif de P7 que seront étudiés les effets des techniques d'amélioration du bilan hydrique des cultures sur le ruissellement et l'érosion.

Il faut par contre signaler l'importance de l'activité bénéfique des termites (*Trinervitermes geminatus*) qui peuvent remonter des horizons plus profonds (zones d'accumulation des éléments lessivés) vers les horizons de surface, en moyenne 1200kg/ha/an de matériaux terreux sur une jachère protégée (ROOSE et al 1979).

Les sols ferrugineux tropicaux présentent donc en général des facteurs naturels assez défavorables à l'alimentation hydrique des cultures. L'effet de la technique d'économie de l'eau sera d'autant plus appréciable qu'elle permettra des modifications des propriétés physiques et hydrodynamiques de ces sols les rendant plus favorables à l'infiltration et au stockage de l'eau.

	Protection Vieille jachère			P ₇ Jeune jachère			P ₇ Sorgho fertilisé			P ₇ Sol nu travaillé		
	Erosion solide 170 kg (1)	Ruissell. 25 mm 2	Total (1+2) 3	Erosion solide 510 kg 4	Ruiss. 42 mm 5	Total (4+5) 6	Erosion solide 7.300 kg 7	Ruiss. 208 mm 8	Total (7+8) 9	Erosion solide 25.000 kg 10	Ruiss. 332 mm 11	Total (10+11) 12
C	6,46	1,18	7,64	8,52	1,05	9,57	149,65	5,35	155,00	317,50	7,84	325,34
N	0,41	0,37	0,78	0,54	0,47	1,01	11,53	3,52	15,05	25,00	5,18	30,18
P	0,07	0,12	0,19	0,17	0,12	0,29	2,52	1,28	3,80	9,75	1,16	10,91
Ca échangeable	0,26	0,83	1,09	0,19	0,97	1,16	3,85	8,40	12,25	8,65	9,46	18,11
Mg "	0,05	0,18	0,23	0,03	0,20	0,23	0,87	2,43	3,30	1,88	2,12	4,00
K "	0,04	0,60	0,64	0,04	0,48	0,52	1,17	8,55	9,72	1,37	3,82	5,19
Na "	0,002	0,11	0,11	0,003	0,16	0,16	0,07	0,98	1,05	0,06	1	1,06
Ca total	0,43	0,83	1,26	0,41	0,97	1,38	6,10	8,40	14,50	14,95	9,46	24,41
Mg "	0,16	0,18	0,34	0,21	0,20	0,41	6,93	2,43	9,36	20,00	2,12	22,12
K "	0,75	0,60	1,35	1,22	0,48	1,70	38,21	8,55	46,76	122,75	3,82	126,57
Na "	0,11	0,11	0,22	0,17	0,16	0,33	5,47	0,98	6,45	14,95	1	15,95
SiO ₂ combinée	22,10	0,23	22,33	40,29	0,45	40,74	1.306,7	5,05	1311,75	3505	9,79	3514,79
Al ₂ O ₃ "	17,63	0,01	17,64	29,89	0,02	29,91	1.054,9	1,08	1055,98	2755	2,46	2757,46
Fe ₂ O ₃ total	7,94	0,05	7,99	10,81	0,06	10,87	238,0	1,02	239,02	687,5	1,06	688,56

TABLEAU 24-4 : Pertes par érosion à SARIA (1971-74)
(en kg/ha/an) - (ROOSE et al 1979)

2.2.2. La pluviosité au cours des années d'expérimentation

	Jan- Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov- Déc	TOTAL ANNEE	
KOLBI LA	84	63 (4)	58 (7)	234(13)	109(12)	65 (9)	110(8))	41 (7)	446 (47)
	85	38 (4)	22 (4)	200(12)	160 (9)	66 (6)	-	-	449 (31)
	86	80(11)	106 (6)	73 (6)	143(14)	158 (8)	23 (2)	-	454 (39)
TO	83	42 (4)	59 (7)	177 (9)	132(10)	67 (9)	13 (1)	-	486 (40)
	84	69 (5)	87 (5)	133 (9)	127 (9)	113 (8)	76 (4)	-	608 (40)
	85	74 (6)	85 (6)	158 (6)	105 (7)	116 (9)	69 (5)	32 (1)	640 (40)
	86	27 (2)	92 (7)	187(10)	186(10)	67 (7)	14 (2)	-	574 (48)
GAMPE LA	82	133(10)	118 (8)	114 (8)	126(15)	43 (6)	64 (3)	-	601 (50)
	83	53 (4)	155 (6)	231 (9)	127(12)	67 (8)	-	-	634 (39)
	84	82 (6)	56 (5)	98 (8)	143(10)	69 (7)	55 (4)	-	502 (40)
	86	100 (8)	84 (9)	130(11)	161(12)	198(12)	41 (5)	-	744 (57)
SARIA	82	129(12)	114 (7)	146(13)	163(12)	109(10)	34 (6)	-	697 (60)
	83	82(10)	152(10)	248(12)	123 (8)	154(11)	13 (2)	-	771 (53)
	84	188(13)	108 (8)	133(13)	118(10)	103(13)	49 (5)	-	670 (62)
	85	14 (4)	55 (8)	213(11)	169(13)	132(12)	5 (3)	-	589 (51)
	86	172 (9)	153 (9)	154(12)	244(13)	188(12)	13 (4)	7 (1)	933 (60)
	87	54 (4)	157 (8)	171(10)	192(12)	106(11)	18 (3)	-	698 (48)
	88	153(12)	149(11)	152(12)	339(15)	120(14)	3 (1)	18 (1)	935 (66)
KAS SOU	84	96(13)	71(14)	178(13)	131(15)	100(11)	76 (5)	28 (2)	679 (73)
	85	57 (7)	100(13)	207(20)	148(16)	182(17)	7 (3)	-	701 (76)
	86	134 (8)	131 (8)	214(11)	230(16)	226(11)	11 (3)	2 (1)	950 (58)

Tableau 24-5 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie (x) des sites d'essai (zone nord-soudanienne)

A la différence du sol, la pluviosité est très variable d'un site à un autre (tableau 24-5). Il convient de rappeler la très grande variation dans cette zone de l'isohyète annuelle de 800 mm au cours de la période 1970-1987, (cf. carte n°3, p. 18).

- A Kassou deux des trois années d'expérimentation 1984 et 1985, ont eu une pluviométrie très déficitaire c'est-à-dire inférieure à la moyenne et aussi au volume annuel de pluie attendu 8/10 années. Seule l'année 1986 a enregistré exceptionnellement une bonne pluviométrie. On observe très souvent comme dans la zone sud-soudanienne des "trous pluviométriques" préjudiciables à l'alimentation en eau des cultures. C'est le cas en 1984 où on a enregistré 10 jours successifs sans une pluie supérieure à 10 mm en Juillet et 18 jours entre le 20 Août et le 7 Septembre ! C'est-à-dire à la phase de début épiaison (FL1) pour les sorghos. Un tel phénomène est sans conteste très catastrophique pour les cultures sur un sol à réserve utile faible à moyenne.

- A Saria, l'année 1985 a été la moins pluvieuse (595 mm). En revanche, l'année 1986 a enregistré une pluviométrie supérieure à la moyenne annuelle attendue 2/10 années. On remarquera que l'écart interannuel de 337 mm est plus faible qu'à Farako-Ba. Cela confirme ce qu'on a pu observer sur la carte n°4 du zonage des potentialités agropédoclimatiques : la pluviométrie atteinte ou dépassée 8/10 années a subi moins de fluctuations dans le nord de la zone soudanienne par rapport au sud au cours de la présente période de sécheresse.

Les variabilités temporelles de la pluviosité au cours de l'hivernage observées déjà sur les autres sites, se retrouvent aussi à Saria où on a enregistré 37 jours successifs sans une pluie de plus de 15 mm entre le 15 Août et le 20 Septembre 1987.

Sur les 6 années consécutives (1982 à 1987) ; 3 années ont eu entre le 20 et le 31 Mai, une pluie ou deux pluies à moins de 3 jours d'intervalle ayant apporté au moins 30 mm permettant déjà d'effectuer un travail du sol relativement dans de bonnes conditions d'humidité du sol.

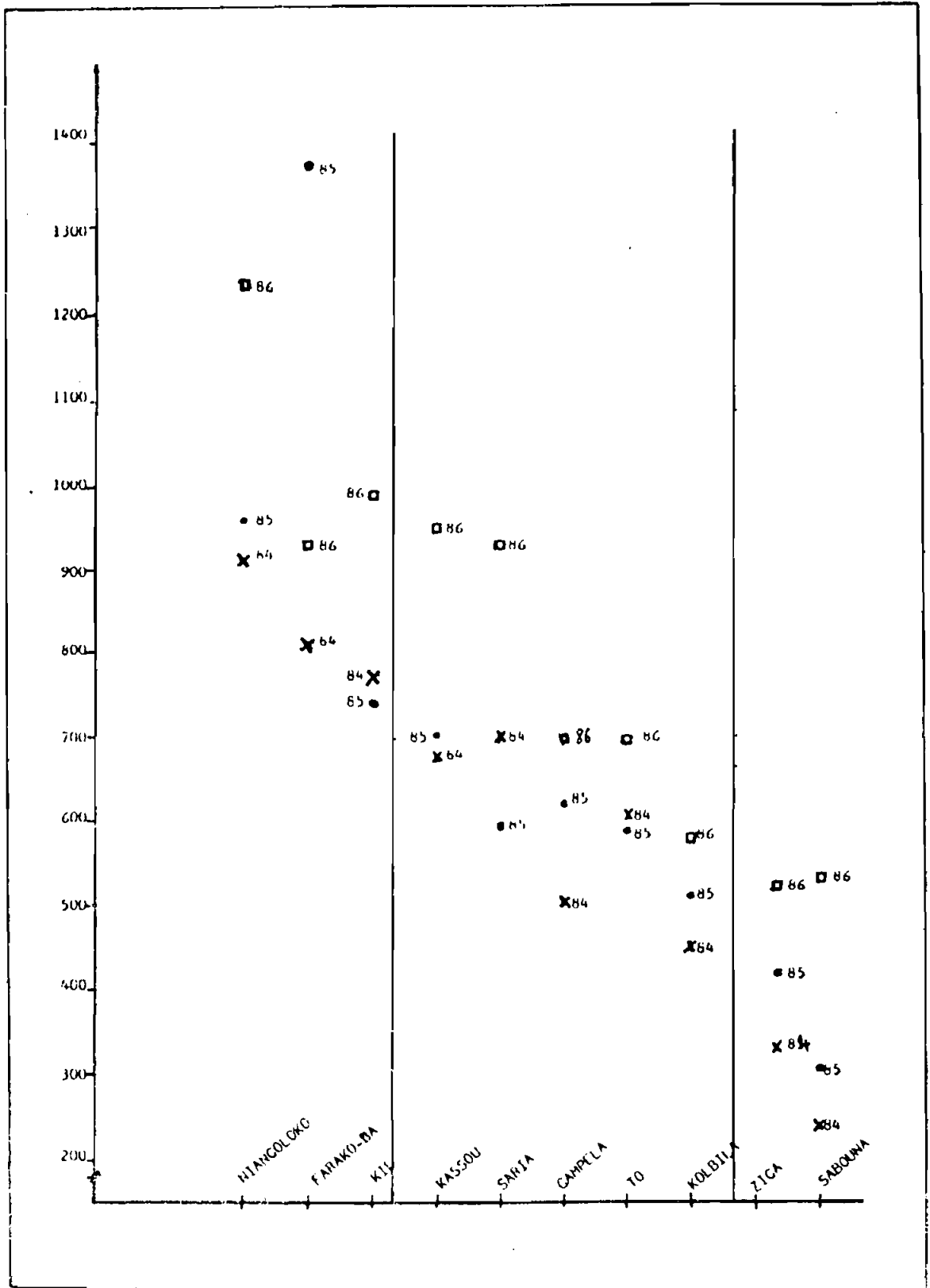


Figure 24-2 : Variations des pluviométries annuelles des sites d'expérimentation (1984 à 1986).

Nous reverrons la pluviosité de Saria au paragraphe 3 de ce chapitre dans l'étude de la variabilité de la pluie sur la station de Saria.

- Les sites situés au nord de Saria ont enregistré durant les années d'expérimentation des pluviosités encore plus erratiques, comme le montre la figure 24-2.

2.3. Les sites de la zone sahélienne

Au cours de la période 1970-1987, sur le plan pluviométrique la zone sahélienne est descendue au sud de Ouahigouya et Bogandé (isohyète moyenne annuelle inférieure à 600 mm).

Les essais agronomiques ont été menés respectivement à Bogandé, Ziga et Sabouna.

2.3.1. Les sols

A Sabouna l'essai a été implanté sur un sol brun-eutrophe. Les caractéristiques chimiques de ce type de sol observées dans le terroir de Sabouna sont respectivement de 0,5% à 0,9% Azote total, 8-11 ppm Phosphore assimilable (Olsen). Le PH (eau) varie de 6,5 à 7,5 (BARRO, 1981).

A ZIGA, c'est un sol ferrugineux sablo-argileux gravillonnaire en profondeur avec une teneur en azote total de 0,6% à 0,8% (KABORE, 1984). Les caractéristiques physiques et hydro-pédologiques des sols de ces deux sites sont en annexe 2.

Nous n'avons pas pu étudier celles de Bogandé où l'essai a été implanté en 1983 sur un sol assez comparable à celui de la parcelle 5 de Saria. A partir de 1984, le PAPEM fut transféré plus près du bas-fond sur un sol qui ressemble plutôt à celui de la parcelle 8 de Saria.

2.3.2. La pluviosité au cours des années d'expérimentation

	Jan- Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov- Déc	TOTAL ANNEE
82	73 (2)	62 (5)	35 (4)	141(10)	84 (6)	5 (1)	-	402 (28)
SABOUNA								
83	24 (2)	50 (4)	171 (6)	125 (8)	54 (5)	3 (1)	-	410 (26)
84	33 (3)	23 (7)	63 (8)	86 (9)	20 (6)	18 (3)	-	243 (36)
85	-	25 (4)	95(10)	123(10)	47 (6)	-	-	290 (30)
86	5 (1)	68 (7)	158 (9)	172(10)	115 (9)	11 (2)	-	530 (38)
87	-	110(4)	143(11)	99 (7)	235(10)	-	-	589 (32)
ZIGA								
84	13 (2)	69 (5)	62 (9)	111 (8)	76 (6)	4 (2)	-	336 (31)
85	-	41 (4)	120(11)	154(12)	77 (4)	-	-	392 (31)
86	38 (2)	74 (9)	96 (7)	219(11)	128(10)	16 (3)	-	571 (42)
BOGAN DE								
83	4 (1)	54 (5)	105 (8)	95 (6)	134 (7)	3 (1)	-	396 (28)
84	125 (7)	92 (7)	78 (8)	90 (9)	128(13)	4 (1)	-	518 (45)
85	17 (3)	39 (4)	137 (7)	145(15)	137(9)	-	-	475 (38)

**Tableau 24-6 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie (x)
des sites d'essai (zone sahélienne)**

Durant les années de l'expérimentation, la pluviométrie annuelle a été partout inférieure à la moyenne attendue 8/10 années sauf en 1986, où elle dépasse la médiane enregistrée à Ouahigouya (tableau 24-6).

Les périodes de sécheresse en cours de végétation sont plus fréquentes et plus longues. Ainsi à Sabouna il y a eu 41 jours sans une pluie supérieure à 10 mm entre le 23 Août et le 2 Octobre 1984. Cette année là, on n'a enregistré aucune pluie égale ou supérieure à 20 mm du semis à la récolte de l'essai.

2.4. Conclusion

Les différents sites d'expérimentation se situent bien dans le cadre général du milieu naturel Burkinabé (Chap. I lère partie) caractérisé par de faibles niveaux des ressources naturelles :

- faible fertilité physique des sols,
- grandes variabilités spatio-temporelles des pluies.

Les résultats obtenus en chaque site peuvent donc être, toutes proportions gardées, extrapolés dans des situations pédoclimatiques semblables.

Mais comme on le verra dans le paragraphe suivant, la micro-variabilité spatiale de la pluie sur une superficie inférieure à celle généralement observée au niveau du terroir villageois, pose le problème de la représentativité du site d'essai lui-même dans le milieu.

3. ETUDE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES PLUIES UNITAIRES SUR LA STATION DE RECHERCHES AGRICOLES DE SARIA

3.1. Méthodologie

Les études d'agroclimatologie en Afrique de l'Ouest ont souvent mis l'accent sur les variabilités spatiale et temporelle de la pluviométrie.

En revanche, peu de données sont disponibles sur la micro-variabilité spatiale de celles-ci.

Au Burkina Faso le Service Agroclimatologie du CIEH avait installé en 1976 un réseau de 18 pluviomètres à Saria. Les relevés pluviométriques ont été faits jusqu'en 1980.

Mais les données n'ont pas été réellement valorisées (Forest, communication personnelle).

En 1982, nous avons repris à peu près le même dispositif (il ne restait plus que 11 pluviomètres). Le nombre de pluviomètres disponibles était insuffisant pour un maillage régulier de la station qui compte 400 hectares. Nous avons donc essayé d'avoir une bonne représentation des parcelles cultivables. Les résultats interprétés concernent les relevés de 1982 à 1987. Le dispositif n'a pas été mis en place en 1983. En 1986, le réseau de pluviomètres n'a pas été correctement suivi entre Août et Octobre. Les relevés de cette période ne seront pas pris en compte dans l'étude.

Les relevés de certaines pluies ont été portés sur un plan de la station et les isovaleurs déterminées par interpolation.

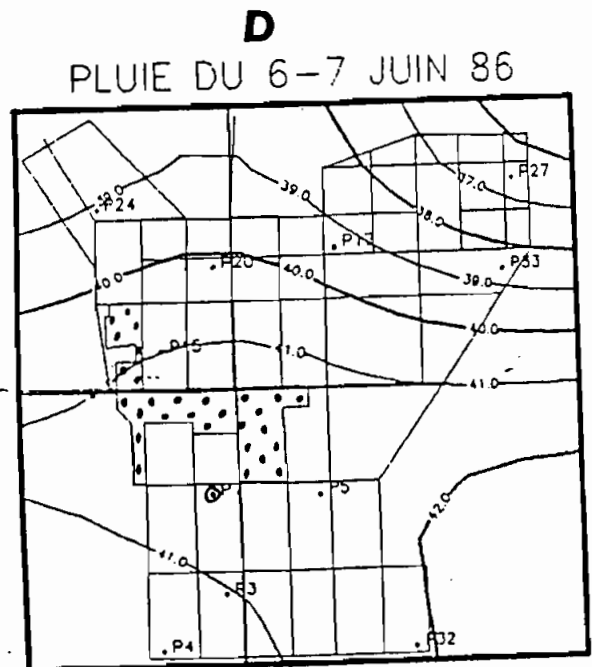
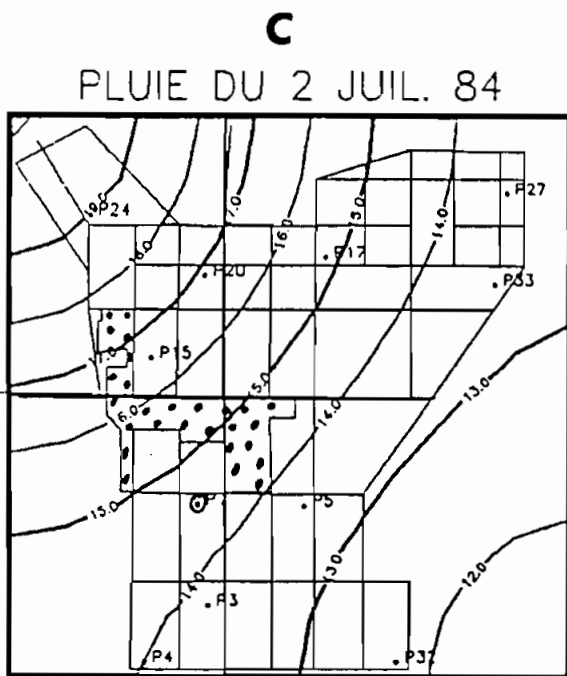
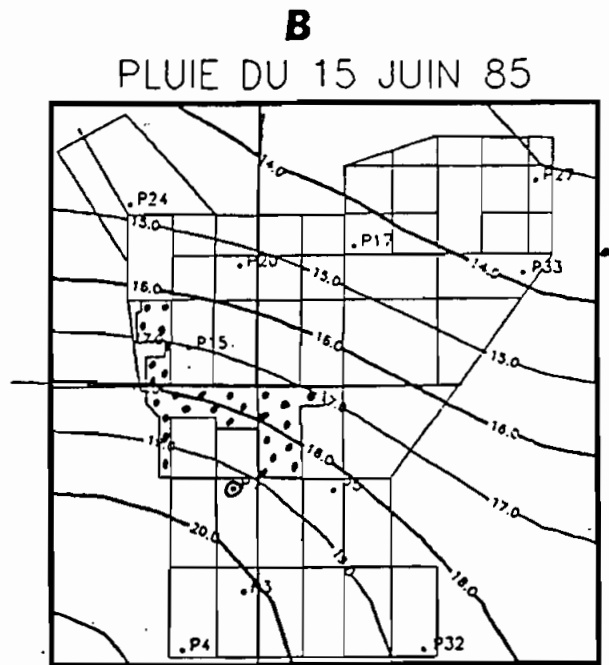
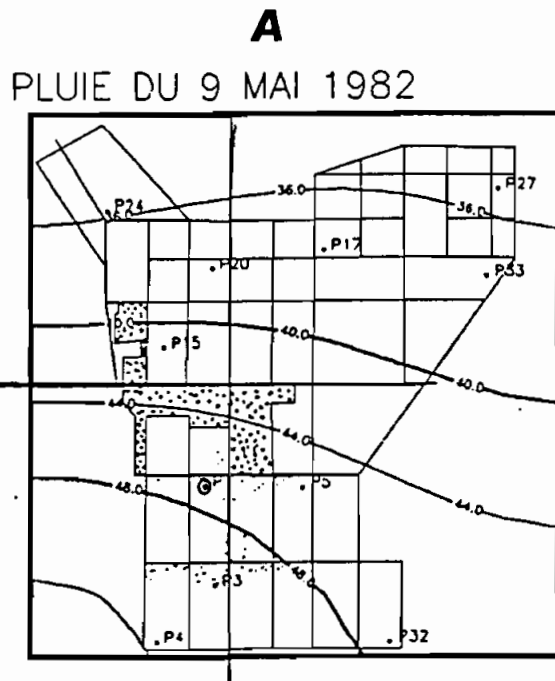
3.2. Résultats et discussions

3.2.1. Répartition spatiale des pluies

L'examen de l'échantillon de pluies unitaires que nous avons choisi (Fig. 24-3 et 24-4) ainsi que les autres pluies relevées ne permet pas, avec le nombre de données actuellement disponibles, de déterminer une direction privilégiée dans la répartition des pluies.

On peut néanmoins faire les observations suivantes :

- Les pluies inférieures à 20 mm du début d'hivernage et celles des mois d'Août et Septembre présentent des isohyètes qui semblent plus réguliers que les fortes pluies (comparaison A-.D avec C-B de la figure 24-3). Ces pluies correspondent généralement à des "orages thermiques" locaux et à des pluies de "mousson".



Légende




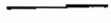
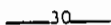
- 0 200 400 m (échelle approximative)
-  station aorométéo
-  zone boisée
-  P4 pluviomètres
-  limite des parcelles (pistes)
-  —30— isohyètes

Fig. 24-3 : Répartition spatiale de 4 pluies de début d'hivernage sur la station de Saria

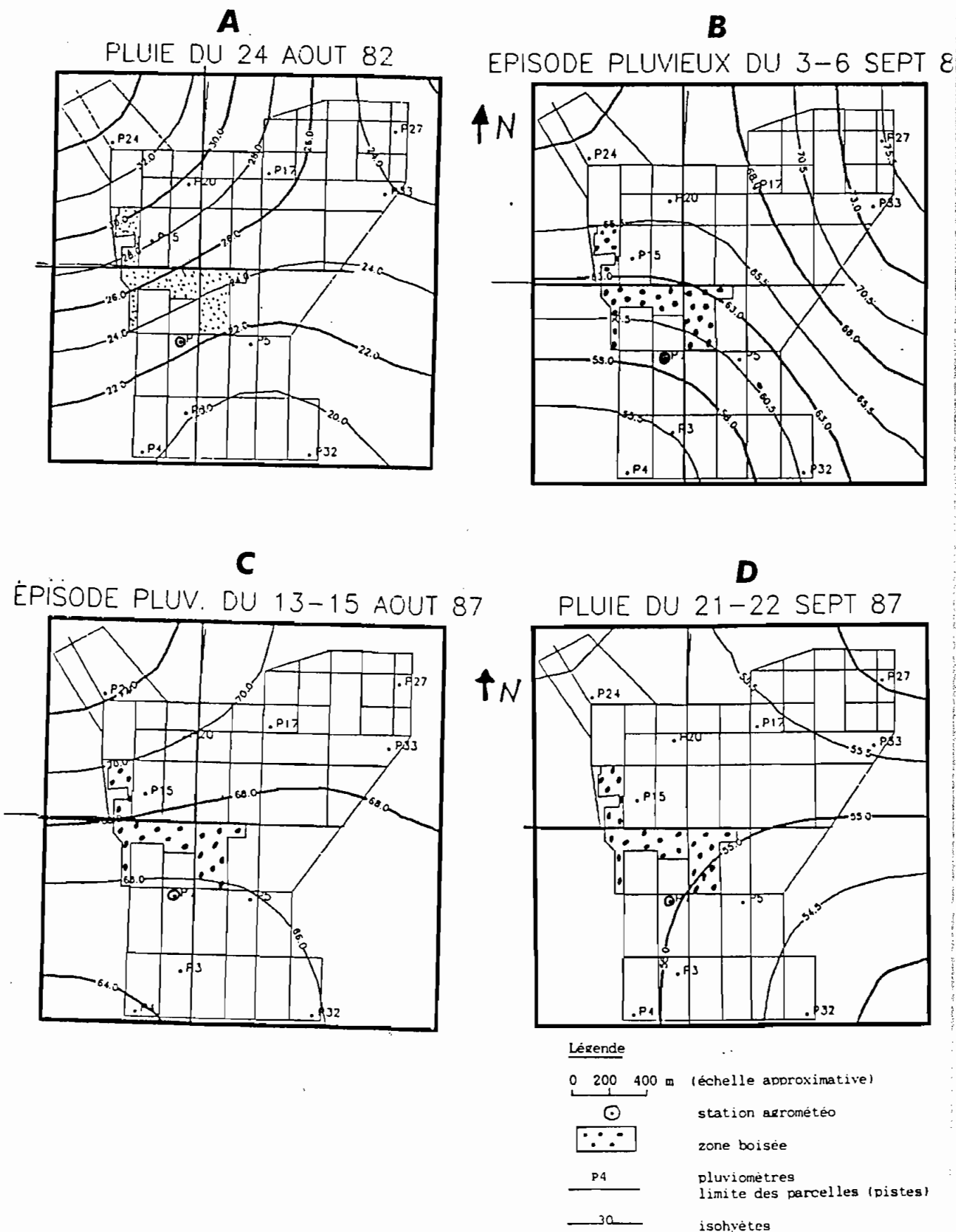


Fig. 24-4 : Répartition spatiale de 4 pluies du milieu et de fin d'hivernage sur la station de Saria

- Les pluies les plus importantes (en nombre et en hauteur d'eau tombée) ont des répartitions généralement moins homogènes. Ce sont les "lignes de grains" toujours accompagnées de vents violents.

Si on observe les répartitions des totaux pluviométriques du mois de Juin et septembre, on constate (Fig. 24-5 et 24-6) que:

- Les variations ne sont pas les mêmes chaque année, tant au niveau de la direction géographique des répartitions que de celui des écarts entre les isohyètes.

- Les isohyètes du mois de Septembre semblent, toutefois mieux répartis que ceux de Juin. Ce qui confirme la dominance des pluies du type "lignes de grains" pendant ce dernier mois.

3.2.2. Représentativité des relevés pluviométriques de la station météorologique (P7) par rapport aux autres pluviomètres

A l'échelle du mois, les relevés de P7 ne sont différents de la moyenne des 11 pluviomètres que 4 fois sur 29 mois soit environ 14% (tableau 24-7). Il est important de noter que cela a surtout été observé durant l'année 1982.

On pourrait penser à des erreurs de mesures. Cette année là ce n'était plus le même observateur que celui qui suivait les 18 pluviomètres du CIEH.

Il n'y a donc pas de différences significatives à l'échelle du mois entre les relevés du pluviomètre principal et ceux des autres pluviomètres.

Les relevés de P7 semblent alors représentatifs des moyennes pluviométriques de la station de Saria. On pourrait penser le contraire à cause de la proximité de la zone boisée.

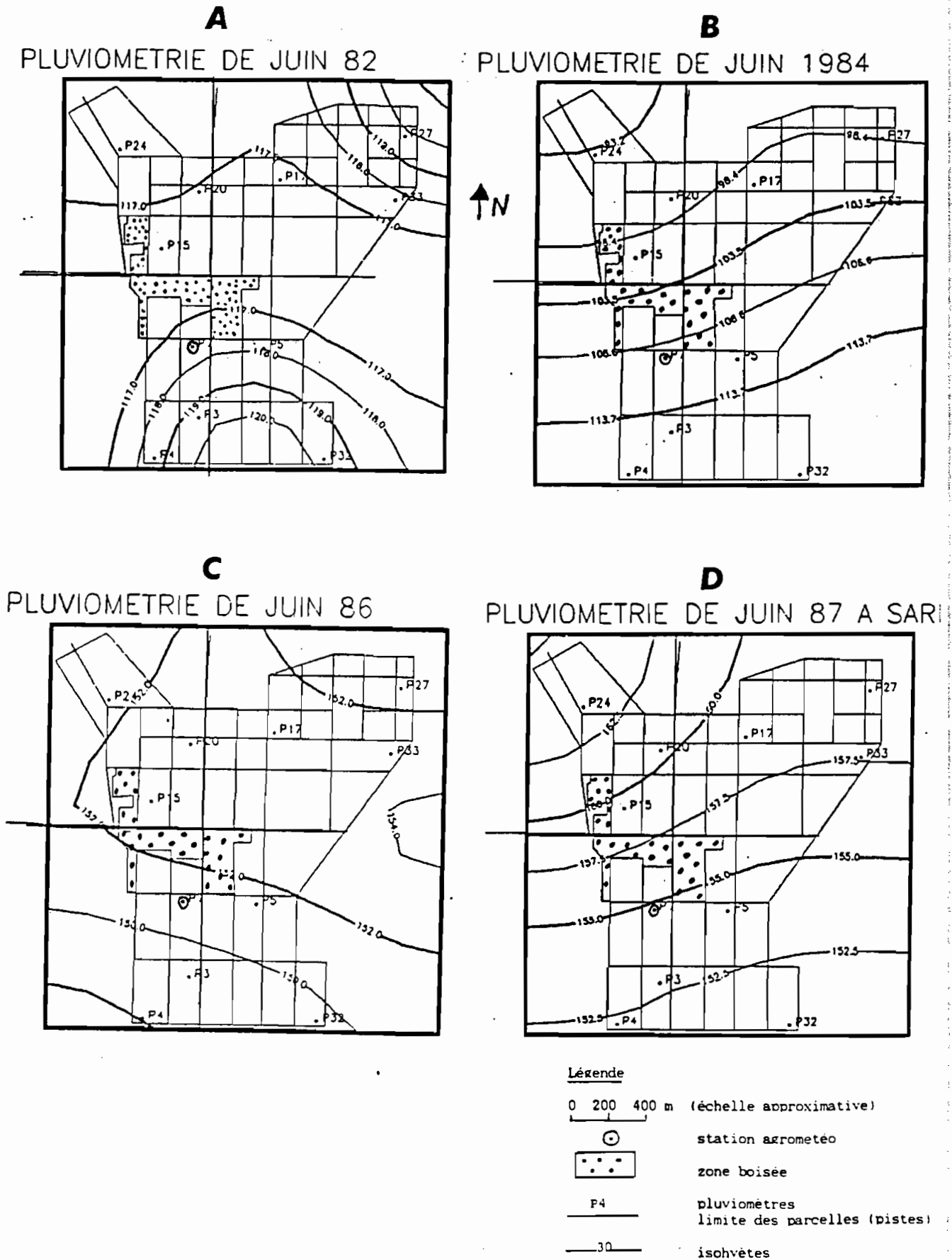
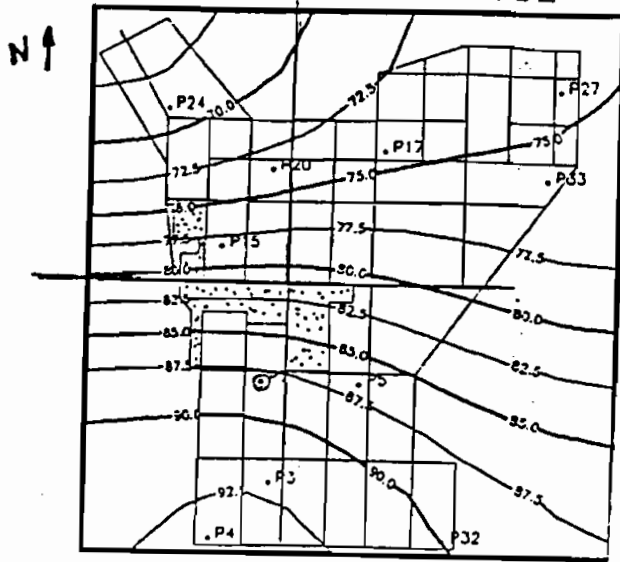
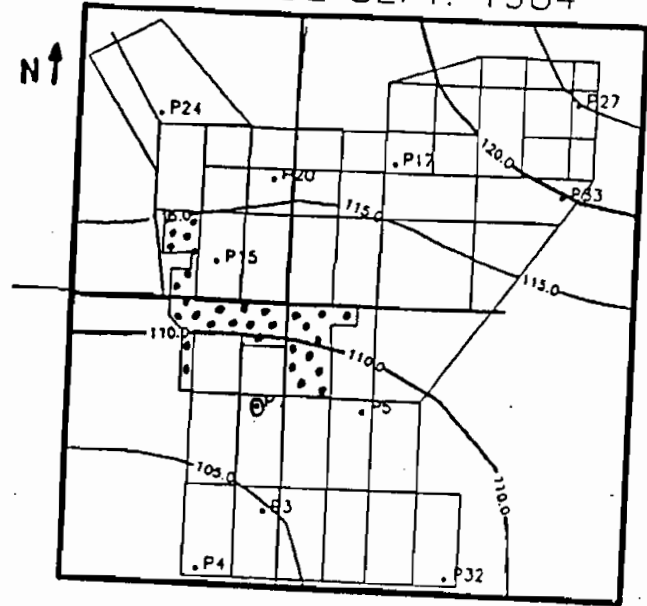


Fig. 24-5 : Répartition spatiale des totaux pluviométriques enregistrés durant le mois de Juin sur la station de Saria

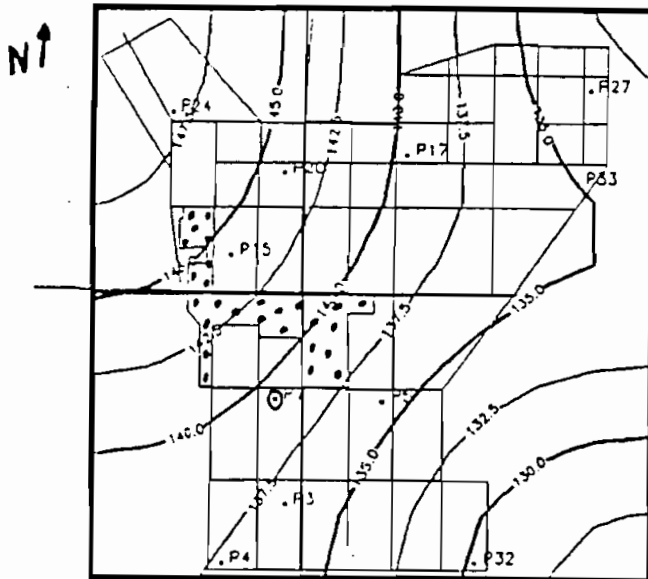
A
PLUVIOMETRIE DE SEPT. 1982



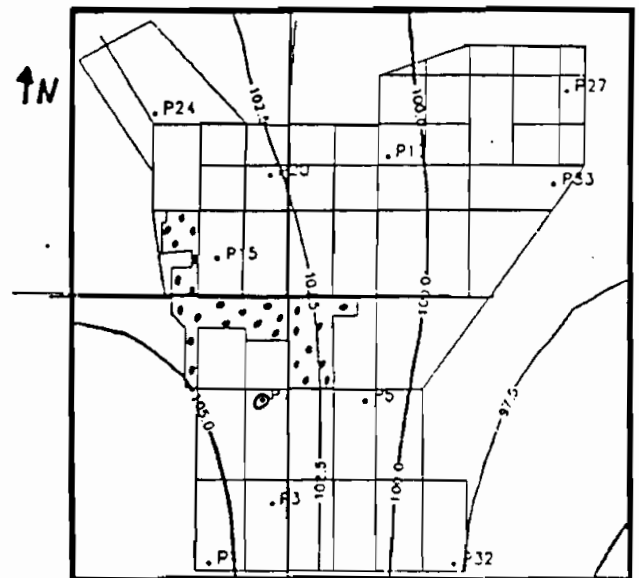
B
PLUVIOMETRIE DE SEPT. 1984



C
PLUVIOMETRIE DE SEPT. 85




D
PLUVIOMETRIE DE SEPT 87



Légende

0 200 400 m (échelle approximative)

 station aërometec

 zone boisée

P4 pluviomètres
— limite des parcelles (pistes)

— 30 — isohyètes

Fig. 24-6 : Répartition spatiale des totaux pluviométriques enregistrés durant le mois de Septembre sur la station de Saria

Mois		1982	1984	1985	1986	1987
Mai	x	58,6	78,4	-	64,4	-
	6	18,2	3,5	-	2,8	-
	P7	95,5*	76,0	10,8	64,0	-
Juin	x	118,5	105,5	42,1	151,4	156,4
	6	6,4	13,6	9,5	5,6	5,2
	P7	114,1	107,8	49,6	153,5	153,6
Juillet	x	148,4	129,5	214,6	147,6	165,5
	6	7,0	7,6	11,2	7,2	5,6
	P7	145,0	133,0	211,7	153,5	170,5
Août	x	171,3	117,0	165,9	-	194,7
	6	12,6	12,0	24,5	-	11,0
	P7	161,1	133,0	169,1	244,4	180,7*
Septembre	x	82,0	111,1	138,2	-	102,2
	6	13,3	12,2	8,9	-	4,4
	P7	109,3*	101,0	139,2	188,2	106,2
Octobre	x	43,5	51,9	4,4	-	15,0
	6	3,2	6,5	1,1	-	2,0
	P7	37,2*	48,5	4,7	13,2	17,0

* valeurs où les différences sont significatives.

Tableau 24-7 : Comparaison entre les moyennes mensuelles des 11 pluviomètres et les relevés du pluviomètre principal de la station météorologique

En tout cas, l'ICRISAT en 1986 et 1987 a mené une étude similaire sur le Centre de Sadoré au sud de Niamey au Niger. La superficie du Centre est de 500 ha et 18 pluviomètres ont été placés à environ 400 m les uns des autres. Au cours de ces deux années les relevés du pluviomètre de la station météorologique situé au milieu du domaine n'ont pas été statistiquement différents des moyennes des 18 pluviomètres.

Les collègues de l'ICRISAT ont montré en utilisant des techniques géostatistiques que pour 1986 les hauteurs pluviométriques pouvaient être considérées comme indépendantes à une distance d'au moins 1000 m de chaque pluviomètre (ICRISAT, 1987).

3.2.3. Conclusion sur la variabilité spatiale locale des pluies

L'étude présente en elle-même des limites importantes :

- Nombre d'années de mesure actuellement insuffisant pour tirer des "lois statistiques".
- Manque d'analyse géostatistique pour chaque pluie unitaire.

Ces limites sont inévitables dans le cadre de ce mémoire. Cependant on peut dire que l'objectif visé qui est celui de montrer la micro-variabilité de la pluie a été atteint.

L'alimentation en eau de la culture et sa réponse est un phénomène dont l'importance sur la productivité se manifeste à des échelles de temps beaucoup plus courtes que le mois ; on peut donc penser que la micro-variabilité constatée a un impact certain sur les différences de production généralement observées dans un terroir villageois.

Dans ces conditions, un site d'essai agronomique ne peut être représentatif dans l'absolu, des conditions agroclimatiques générales d'une zone géographique, mais il constitue plutôt une base à partir de laquelle on peut extrapoler des observations sur la région.

4. MATERIELS ET METHODES D'EXPERIMENTATION COMMUNS A TOUS LES ESSAIS

4.1. Cultures -Variétés

4.1.1. Les sorghos (Sorghum bicolor)

Nom de la variété	Origine	Classification Botanique	Taille (m)	Cycle semi-maturité (jours)	Isohyètes limites de la zone de culture mm	Productivité (qx/ha)	Sensibilité au photopériodisme
Populations locales	Burkina	Guineensia	3 à 5	Variable	-	-	Sensibles
S29	Burkina (améliorée)	Guineensia	3,50-4,50	125	750-950	30-35	sensible
S10	Niger (lignée)	Caudatum	1,80-2,00	105-110	600-750	35-40	peu sensible
S 6	Mali (lignée 1/2 locale)	Guinea	2,00-2,50	120	600-800	30-35	sensible
E 35-1	Ethiopie (améliorée)	Caudatum	2,30	120	750-900	40-45	peu sensible
IRAT 204	lignée	Caudatum	1,40	90	450-600	35-40	non sensible
IRAT 202	lignée	Caudatum	1,70	95-100	500-600	35-40	non sensible
IRAT 277	lignée	Caudatum	2,30	105-110	600-800	40-45	non sensible

Tableau 24-8 : Caractéristiques principales des variétés de sorgho utilisées dans les essais (Source : IRAT/HV, 1982)

Sept variétés améliorées ont été utilisées en plus des variétés locales dans les différents essais. Le choix de la variété dépendait de la localisation du site, de la demande de la structure de développement et surtout de la date de semis de l'essai. Le tableau 24-8 donne les caractéristiques principales des variétés.

4.1.2. Les maïs (Zéa mays)

Trois variétés de maïs améliorées ont été utilisées. Leurs caractéristiques principales sont reportées dans le tableau 24-9. Elles ont été améliorées au Burkina à partir de matériels locaux ou introduits à partir des pays de la sous/région.

le choix de la variété dépendait essentiellement de la disponibilité en semences.

Nom de la variété	Origine	Nature Génétique	Taille (m)	Cycle semi-maturité(jours)	Isohyète limite de la zone de culture (mm)	Productivité (qx/ha)
IRAT 80	Burkina	Synthétique	2,50	100-105	900-1200	50
IRAT 171	Nigeria	Composite	2,10	95-100	900-1200	50
IRAT 81	Côte d'Ivoire	Hybride Complexe	2,70	115	sud de 1000 m	52 (cultures sèches)

Tableau 24-9 : Caractéristiques principales des variétés de maïs utilisées dans les essais (Sources : IRAT/HV,1982, Réseau Maïs 1989)

4.1.3. Les mils (Pennisetum americanum)

Nous avons utilisé uniquement les variétés locales. Nous ne disposons pas de semences de variétés populations améliorées adaptées aux sites d'expérimentation.

4.2. Fertilisation

La fertilisation organo-minérale suivante, a été recommandée sur tous les essais afin de limiter l'impact du faible niveau de fertilité naturelle du sol sur la productivité des céréales et faire ressortir essentiellement le facteur alimentation hydrique:

- Avant la préparation du sol, épandage de 5T/ha/an matière organique (compost, fumier...), 400 kg/ha du phosphate naturel (Burkina phosphate) la première année de l'essai et 100 kg/ha les années suivantes.

- Fumures complémentaires en cours de cycle

Mil 100 kg/ha NPK + 50 kg/ha Urée

Sorgho 100 kg/ha NPK + 100 kg/ha Urée

Maïs 100 kg/ha NPK + 150 kg/ha Urée + 50 kg/ha de chlorure de potassium

Les modes de semis et d'application des engrais sont faits selon les recommandations faites à la vulgarisation (1ère partie-chapitre 2).

4.3. Méthodes d'évaluation de l'effet des traitements

4.3.1. Enracinement des cultures

Les profils racinaires sont réalisés en début de montaison et à la floraison (floraison femelle du maïs).

a) Une fosse d'environ 60 cm de profondeur, creusée en bordure de la parcelle, perpendiculairement aux lignes de semis permet de dégager les racines de 2 poquets. Ces racines sont mises à nu, à l'aide d'un couteau, jusqu'à environ 2 cm du collet des tiges.

Puis on plaque sur le mur de la fosse (méthode ITCF) un cadre en bois de dimensions intérieures 0,40 m x 0,20 m. L'intérieur du cadre est délimité en mailles de 5 cm de côté par du fil de crin.

On compte alors le nombre de racines apparaissant dans chaque maille. Cette notation permet ensuite de schématiser le profil d'enracinement des plants du poquet.

b) A défaut de cadre, on décrit le profil puis on mesure :

- la largeur de sol explorée par la majorité des racines,
- la largeur maximale de l'enracinement,
- la profondeur maximale du fond d'enracinement.

4.3.2. Impact des traitements sur la croissance végétative, le rendement et les composantes du rendement des cultures

a) Mesures des hauteurs de plants

L'effet des techniques culturales sur la croissance de la plante est apprécié par des mesures de hauteur faites de la base du collet au bout de la dernière feuille sur 2 lignes tirées au hasard dans la parcelle utile. Environ 40 poquets par ligne, identifiés à la première mesure, 1 mois après le semis, sont retenus pour les mesures suivantes faites à 2 mois, 3 mois et à la récolte.

b) Caractéristiques mesurées à la récolte

Sur chaque parcelle on relève les données suivantes :

- nombre de poquets récoltés,
- nombre total d'épis ou de panicules,
- nombre d'épis ou de panicules vides,
- poids des épis ou des panicules contenant des grains,
- poids des grains, (à 15 % d'humidité environ pour le maïs),
- poids de 1000 grains,
- poids de paille (après séchage au soleil).

4.4. Conclusions

Les cycles de culture des maïs et des sorghos utilisés dans les essais, sont bien ceux qui sont actuellement les mieux adaptés à chaque localité, d'après le zonage par culture effectué dans le chapitre précédent (paragraphe 2-1 et 2-2).

Les méthodes d'investigation sont simples et adaptées à notre niveau d'équipement actuel.

CHAPITRE V.**TECHNIQUES D'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE DES CULTURES, BASEES EXCLUSIVEMENT SUR LE TRAVAIL DU SOL EN HUMIDE ET A LA TRACTION BOVINE.****1. MATERIELS ET METHODES.****1.1. Dispositifs d'études.****1.1.1. Dispositifs des essais multilocaux.**

Douze techniques de travail du sol ont été inventoriées. Elles constituent les traitements des essais. Leur répartition géographique a été faite en fonction des conditions agroclimatiques, des problèmes posés par le développement et des résultats obtenus les premières années (tableau 25-1).

Dans chaque essai, on étudie 6 traitements dans un dispositif à 6 blocs randomisés. Dans certains cas (espace disponible insuffisant par exemple), on a réduit les traitements à 5. Les parcelles et les blocs sont séparés respectivement par des allées de 2 m et 3 m de largeur.

Les parcelles élémentaires ont chacune une superficie de 6,4 m * 20 m, soit 128 m². Ces dimensions ont été choisies pour tenir compte des écartements de semis des céréales et des conditions de travail du sol en culture attelée bovine.

A la récolte, on élimine 2 lignes et 4 poquets (seulement 3 pour le mil) en bordure de chaque parcelle. La parcelle utile récoltée, compte tenu des densités de semis, est donc de:

4 m * 17,2 m = 68,8 m² pour le maïs et le sorgho

4 m * 16 m = 64 m² pour le mil.

A la station de Saria, on a mis en place deux sites d'essai, l'un sur la parcelle 5 (P5) situé en haut de la toposéquence, appelé Saria Haut, l'autre sur la parcelle 8 (P8) situé en bas de la toposéquence et appelé Saria Bas.

Numéro	Traitements
1	Temoin (grattage superficiel à la daba comme le fait traditionnellement le paysan).
2	Scarifiage en sec.
3	Labour à plat en début de saison des pluies. Ecartement normal.
4	Labour en billons début des pluies. Ecartement normal.
5	Labour en billons resserrés début des pluies.
6	Labour en billons début des pluies. Cloisonnement des billons un mois après.
7	Labour à plat début des pluies. Buttage un mois après.
8	Labour à plat début des pluies. Buttage un mois après. Cloisonnement un mois après buttage.
9	Scarifiage en humide. Binage mécanique après toute pluie importante.
10	Semis direct sans travail du sol. Buttage et cloisonnement un mois après semis.
11	Labour à plat début des pluies. Buttage et cloisonnement un mois après semis.
12	Semis sur billons cloisonnés.

Tableau 25-1: Inventaires des traitements.

N.B. : le cloisonnement des billons est fait à la main tous les un mètre.

		SABOU- NA	ZIGA	TO	KIE	SARIA		GAM- PELA	BOGAN- DE	KOLBI- LA	KASSOU	FARA- KO-BA	NIANGO LOKO
						HAUT	BAS						
1	Témoïn non travaillé	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Scarifiage en sec					x	x	x					
3	Labour à plat début des pluies traction bovine	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Labour en billons	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Labour en billons écartements plus serrés	x											
6	Labour en billons cloisonnement 1 mois après											x	
7	Labour à plat. Buttage 1 mois après						x	x				x	x
8	Labour à plat. Buttage 1 mois après cloisonnement 1 mois après	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	Scarifiage en humide binage mécanique après pluie importante	x	x			x	x	x					
10	Semis direct. Buttage après tallage cloisonnement 1 mois après	x	x	x	x	x							
11	Labour à plat. Buttage et cloisonnement 1 mois après semis	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
12	Semis sur billons cloisonnés		x	x	x		x	x			x		

Tableau 25-2 : Traitements étudiés dans chaque site

Les deux sites encadrent la parcelle 7 (P7) où se situe le dispositif d'étude de l'effet des mêmes techniques d'économie de l'eau sur le ruissellement et l'érosion à la parcelle.

ANNEE	1982	1983	1984	1985	1986
SITE					
SABOUNA	M. local	M. local	S. IRAT 204	M. local	-
ZIGA	-	S. local	M. local	M. local	M. local
BOGANDE	-	S. local	S. local	S. local	-
KOLBILA	-	-	S. local	S. IRAT 202	S. IRAT 202
TO	-	S. local	S. local	S. IRAT 202	S. IRAT 202
SARIA HAUT	S. IRAT S10	S. IRAT S10	S. IRAT S10	Cotonnier	S. IRAT 277
SARIA BAS	S. IRAT S6	S. IRAT S10	S. IRAT S10	Cotonnier	S. IRAT 277
GAMPELA	S. IRAT S29	S. E 35-1	S. IRAT S10	Cotonnier	S. E 35-1
KASSOU	-	-	S. locale	S. ICSV 1002	S. IRAT 277
KIE	-	-	M. IRAT 171	M. IRAT 171	M. IRAT 171
FARAKO-BA	Ma. IRAT 80	Ma. IRAT 171	Ma. IRAT 81	Cotonnier	Ma. IRAT 171
NIANGOLOKO	-	-	Ma. IRAT 171	Ma. IRAT 17	Ma. IRAT 171

Tableau 25-3 : Essais mis en place par année, site, culture et variété.

M.: Mil, S.: Sorgho, Ma.: Maïs.

En 1985, le site de Niangoloko a été déplacé d'environ 300 m. La culture du cotonnier a été introduite afin de rompre la monoculture céréalière.

1.1.2. Dispositif de l'étude sur le ruissellement et l'érosion à Saria.

Le dispositif a été mis en place en 1971 par l'ORSTOM et l'IRAT. L'historique des parcelles et les principaux résultats antérieurs sont donnés en annexe N° 4. Actuellement, le dispositif se compose de:

- 5 parcelles de ruissellement dont une qui mesure 22,4m * 4,5m soit 100 m². Elle est dite case standard de WISCHMEIER. Les autres qui servent à l'étude des techniques culturales sont analogues avec des dimensions de 16m * 6m, soit 96 m². L'orientation du dispositif est est-ouest. La pente générale est faible, environ 0,7% (cf. figure 24-1).

- Un dispositif de recueil des eaux de ruissellement et de la terre érodée est construit en aval des parcelles. Il se compose d'un premier bassin où vont se déposer les éléments les plus grossiers de la terre érodée (piège à sédiments) et de deux cuves reliées entre elles par un système de partiteurs. Ces cuves sont graduées et permettent la lecture directe du volume d'eau coulée.

- Le dispositif se trouve à l'intérieur de la station agrométéorologique, qui comprend parmi ses appareils de mesure:

- * un pluviomètre à lecture directe et un pluviographe à augets basculants (mesure de hauteurs et intensités des pluies).

- * un bac d'évaporation normalisé du type US classe A.

La parcelle de WISCHMEIER est maintenue nue sans culture. On y fait cependant un binage à la daba (houe traditionnelle) après chaque pluie supérieure à 20 mm, ce qui modifie un peu le protocole de WISCHMEIER (1959).

Les traitements suivants (étudiés dans les essais multilocaux), sont repris sur les quatre autres parcelles:

- témoin (T), gratté à la daba, comme le fait le paysan.
- labour en billons perpendiculaires à la pente et semis sur le haut du billon (B).
- labour à plat + buttage manuel + cloisonnement des billons(BC).
- labour à plat (LB).

En fait, le traitement de la parcelle B a varié selon les années entre les billons simples et les buttages cloisonnés à un mois après le semis (BC1). Ceux-ci ont été appliqués en 1985 et 1986. Les autres années, les billons simples ont été étudiés.

1.2. Méthodes d'évaluation de l'effet des traitements.

1.2.1. Dynamique de l'eau dans le sol.

Des profils hydriques ont été régulièrement effectués à Saria et à Gampéla par prélèvements d'échantillons de sol à la tarière. Ils l'ont été de façon plus épisodique à Sabouna, Ziga et Farako-Ba. Les humidités pondérales calculées sont transformées en humidités volumiques grâce aux valeurs de la masse volumique du sol déterminées à différentes profondeurs avec un densitomètre à membrane (annexe n° 2).

Les prélèvements sont faits par 2 tranches de 10 cm entre 0 et 20 cm de profondeur, puis par tranche de 20 cm jusqu'au front d'humectation ou bien jusqu'à la limite de pénétration pour la tarière manuelle.

La périodicité des prélèvements a été établie de la façon suivante:

1. le lendemain du semis
2. une semaine après le semis
3. 15 jours après le profil 2
4. 15 jours après le profil 3
5. 1 mois après le profil 4
6. 1 mois après le profil 5
7. à la récolte.

Les échantillons de sol prélevés à Saria sont pesés en humide puis envoyés à Ouagadougou (80 km) pour être mis à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Ils sont ensuite retournés à Saria pour les pesées des poids secs. La station de Saria ne dispose pas actuellement d'électricité en continu pour faire fonctionner une étuve.

Gampela étant situé plus près de Ouagadougou que Saria (environ 15 km), les échantillons de sol y sont directement apportés pour les pesées et le séchage.

1.2.2. Observations sur l'enherbement.

Elles ont généralement été faites avant les premiers sarclages. On évalue, à vue d'oeil, le pourcentage de la parcelle contenant des adventices. Puis on jette au hasard dans la parcelle, en trois répétitions, un cadre de 1 mètre de côté. On coupe ensuite toutes les herbes présentes à l'intérieur de ce cadre. Les échantillons d'herbe sont ensuite pesés et séchés à l'étuve à 60 °C pendant 24 heures, selon le même procédé que les échantillons de sol.

1.2.3. Mesures du ruissellement et de l'érosion.

Chaque parcelle d'érosion est délimitée par des tôles ondulées enfoncées à peu près de 15 cm dans le sol et débordant en surface d'environ 30 cm. Toute l'eau ruissellée est de ce fait recueillie en aval dans le dispositif.

Dans le "piège à sédiments", on recueille les particules grossières de terre érodée. Cela constitue la "terre de fond". La terre fine en suspension est évaluée à partir d'échantillons d'eau de 100 cl prélevés dans les cuves en 6 répétitions.

La teneur moyenne en particules solides des échantillons, que l'on détermine par pesée après décantation et séchage à l'air libre, rapportée au volume total d'eau ruissellée, donne une certaine évaluation de la masse de "terre en suspension". Cette évaluation n'est pas très précise, mais elle permet néanmoins des comparaisons entre traitements.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

Une partie des résultats présentés ci-après font l'objet d'une publication qui paraîtra prochainement dans L'Agronomie Tropicale, 1989, volume 44, n° 4.

2.1. Le maïs.

2.1.1. Influence des traitements sur la croissance du maïs.

L'effet des différentes techniques de travail du sol se manifeste sur les jeunes plants dès la levée; les différences s'accroissent à la montaison comme le montrent l'exemple du tableau 25-4 et de la figure 25-1, avec le maïs variété IRAT 171.

SITES	DATE DE LA ANNEE	T1	T3	T4	T6	T7	T8
		TEMOIN	LABOUR A PLAT	LABOUR BILLONS	BILLONS CLOISO.1	LABOUR BUTTAGE	BILLONS CLOISO.2
FARAKO- BA 1983	20/7	37.7	56	59.6	57.7	54	66
	19/8	130.7	177	161.5	166.5	173.7	173
	20/9	144.6	180	169.2	172.2	176.2	181.1
NIANGO. 1984	31/7	52	61	46	-	60	60
	29/8	130	145	124	-	142	146

Tableau 25-4: Hauteur en cm des plants de maïs, variété IRAT 171 à Farako-Ba et Niangoloko.

Ce maïs peut atteindre une taille de 2,15 m (cf. tableau 24-6). Les techniques d'économie de l'eau ne lui ont pas permis d'atteindre cette taille dans nos conditions d'expérimentation. On notera cependant que, même en année à pluviosité très erratique comme en 1984, le labour et le labour suivi d'un buttage cloisonné permet à ce maïs d'atteindre 70% de sa taille maximale sur les deux sites de Niangoloko et de Kié.

Avec le maïs IRAT 171, on a des différences de 10 à 20% de hauteurs entre les parcelles travaillées et le témoin (T1). Par contre, les techniques additionnelles (buttage et cloisonnement) n'apportent aucun effet supplémentaire sur la croissance du maïs par rapport au labour à plat.

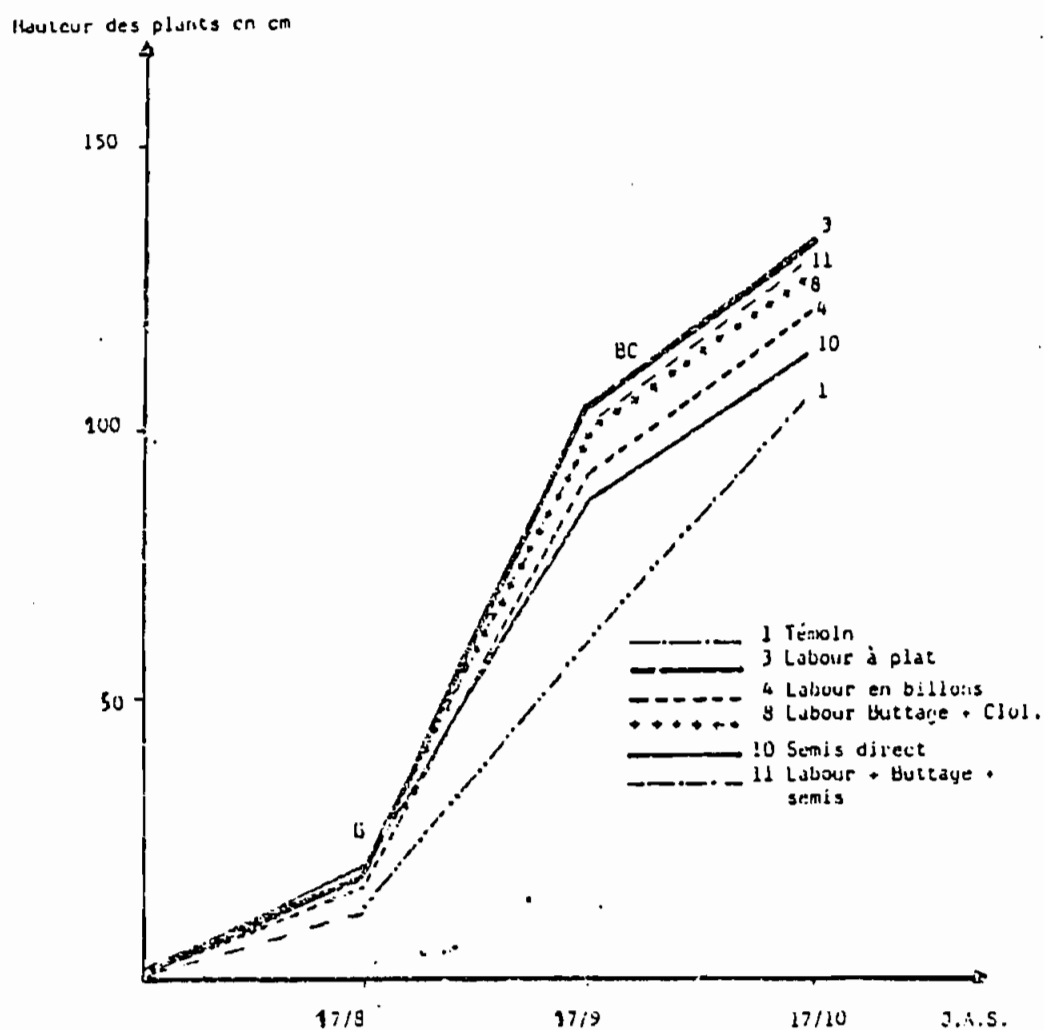


Figure 25-1 : Croissance végétative du maïs à Kié (1984).

2.1.2. Influence des traitements sur l'enracinement du maïs.

Le tableau 25-5 donne l'exemple de Farako-Ba en 1983. Le semis a été effectué le 18/06 cette année-là.

	1ère mesure le 27/07					2ème mesure le 22/08				
	T1	T3	T4	T6		T1	T3	T4	T6	T8
PROFONDEUR MAXIMALE EN CM	35	55	45	35		65	70	60	50	60
LARGEUR MAXIMALE EN CM	55	64	65	60		61	75	76	70	65
HAUTEUR DES PLANTS EN CM	50	95	95	65		135	180	165	160	182
Nombre des racines et ramifications visibles par tranche de sol.										
0-10	29	115	66	104		53	135	93	123	94
10-20	30	64	40	58		71	107	81	92	113
20-FE	3	12	7	11		23	59	41	45	67

FE : Front d'enracinement.

Tableau 25-5 : Techniques de travail du sol et enracinement du maïs IRAT 171 à Farako-Ba en 1983.

Les racines du maïs se développent mal sur le sol non travaillé: l'enracinement est superficiel et peu étendu de part et d'autre de la ligne de semis.

Avec le travail du sol (labour et billonnage), on favorise l'installation et le développement du système racinaire. Cela augmente donc les possibilités d'alimentation hydrique et minérale du maïs.

2.1.3. Rendement et composantes du rendement du maïs.

a. Poids de grains.

Les moyennes des dix essais en maïs montrent un effet important du labour à plat qui assure 51% d'augmentation de rendement par rapport au témoin. Le traitement 8 (labour + buttage cloisonné) procure 54% de gain par rapport au témoin. Cette technique additionnelle du labour à plat ne semble pas apporter un effet supplémentaire notable sur le rendement.

Mais l'analyse des résultats par site montre que cela n'est pas général (tableau 25-6).

A Kié, limite nord de la zone sud-soudanienne, le billonnage cloisonné apporte un supplément de 32% par rapport au labour à plat. Cela confirme les résultats de l'IITA/SAFGRAD dans la zone (rapports annuels de 1979 à 1984).

Mais le billonnage cloisonné non précédé d'un labour à plat (T10) a moins d'intérêt (+ 25% par rapport au témoin T1).

TRAITEMENT	KIE		FARAKO-BA		NIANGOLOKO	
	rdt	%	rdt	%	rdt	%
1 TEMOIN	782	100	1857	100	2075	100
3 LABOUR A PLAT	1685	215	2994	161	2395	115
4 LABOUR EN BILLONS	-		2367	127	2542	123
7 LABOUR A PLAT + BUTTAGE	-		2483	134	2497	120
8 LABOUR + BUTTAGE 1 MOIS + CLOISONNEMENT 2 MOIS	1929	247	2748	148	2635	127
10 BUTTAGE + CLOISO. 2 MOIS	974	125	-		-	
11 LABOUR + BUTTAGE + CLOISONNEMENT 1 MOIS	1999	256	-		-	

rdt : en kg/ha.

**Tableau 25-6 : Moyennes des rendements en grains du maïs
(14 à 15% d'humidité).**

L'écart de rendement obtenu avec le labour à plat se retrouve aussi à Farako-Ba (+ 61%). Par contre, les techniques additionnelles (butage + cloisonnement) qui apportent des plus-values par rapport au témoin non travaillé, semblent dépressives par rapport au labour à plat. Ce résultat est difficile à expliquer, car les plants de ces traitements présentaient un développement comparable à ceux du T3 ; le sol faiblement ferrallitique ne présentait pas d'hydromorphie en surface. Est-ce un drainage plus rapide qui accroît le phénomène de lixiviation ? Les plants n'avaient pourtant pas de signes de carences particulières de certains éléments essentiels. Est-ce la destruction des racines superficielles par les travaux du sol ?

A Niangoloko, sans être dépressif, l'effet du buttage et du cloisonnement est également peu important par rapport au labour à plat. Le travail du sol ne permet pas d'avoir une nette amélioration du rendement par rapport au témoin comme à Kié où les rapports peuvent être de 1 à 2.

La figure 25-2 présente les rendements en fonction du site et de l'année du maïs IRAT 171 utilisé dans 8 des 10 essais.

On constate, pour un même site, un effet important de l'année. Cela a été particulièrement marqué à Niangoloko où les résultats de 1986 (année à très bonne pluviosité) sont faibles pour les 3 traitements communs étudiés sur tous les sites. Par contre, le semis sur billons (T4) a donné cette année là plus de 600 kg/ha de maïs de plus que le labour à plat (annexe 5a). Il y a là, indubitablement, un effet de ressuyage assuré par les billons. On note aussi un effet du semis tardif effectué le 18 juillet en 1986 (cf. figure 23-20).

En revanche, à Kié, c'est l'année 1984 la plus déficitaire du point de vue de la pluviométrie, qui a donné les rendements les plus médiocres.

On remarquera que ces essais n'ont pas permis d'obtenir le potentiel actuel de rendement de cette variété qui est de 50 qx/ha (cf. tableau 24-6).

L'analyse des interactions entre les traitements et les sites d'essais selon la méthode statistique présentée par DENIS et VINCOURT (1982) révèle (figure 25-3) que :

- il n'y a pas d'interaction entre le témoin et les 2 autres techniques de travail du sol.

- par contre, il y a des interactions entre le labour (T3) et le labour suivi du buttage cloisonné (T8). Globalement, il n'y a donc pas d'effet de la technique additionnelle sur le rendement en grain du maïs par rapport au labour. Cela dépend du site et de l'année.

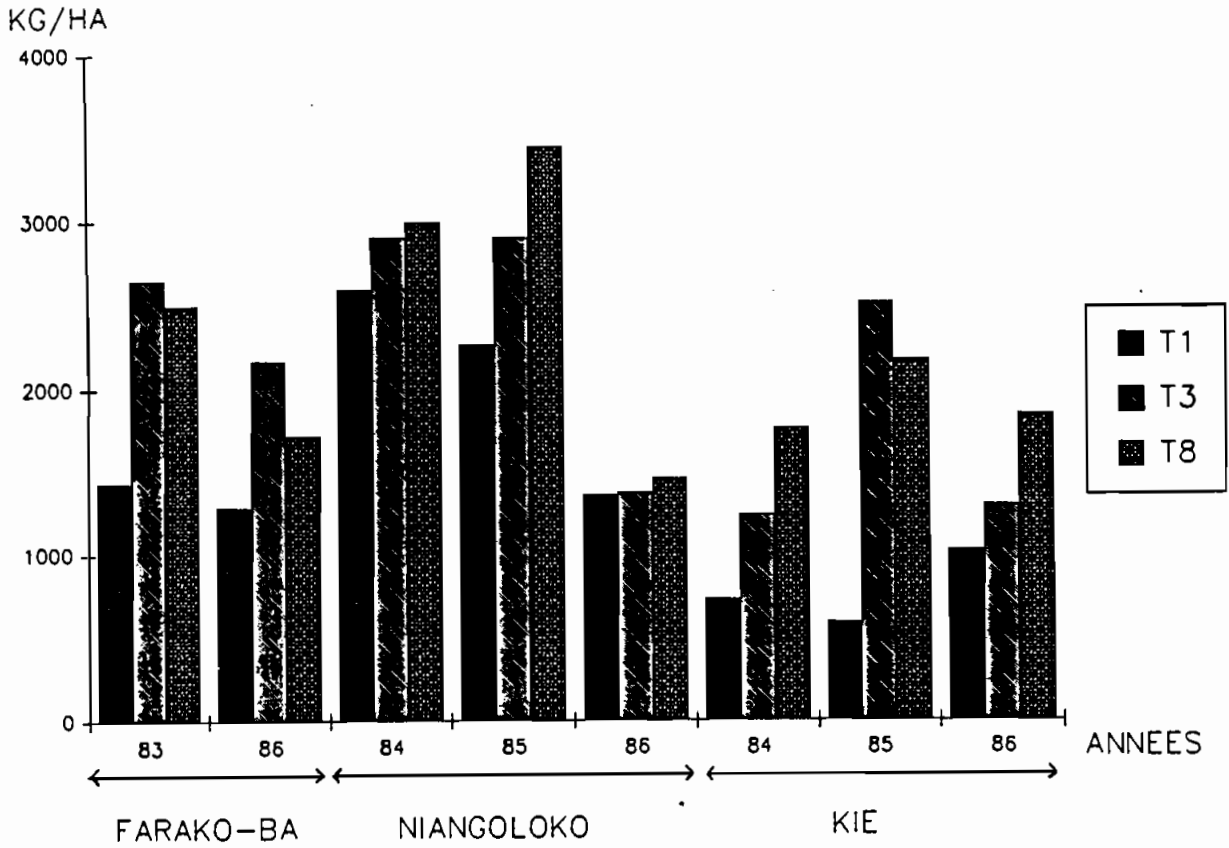


Figure 25-2 : Rendements en grain du maïs variété IRAT 171 en fonction du site et de l'année.

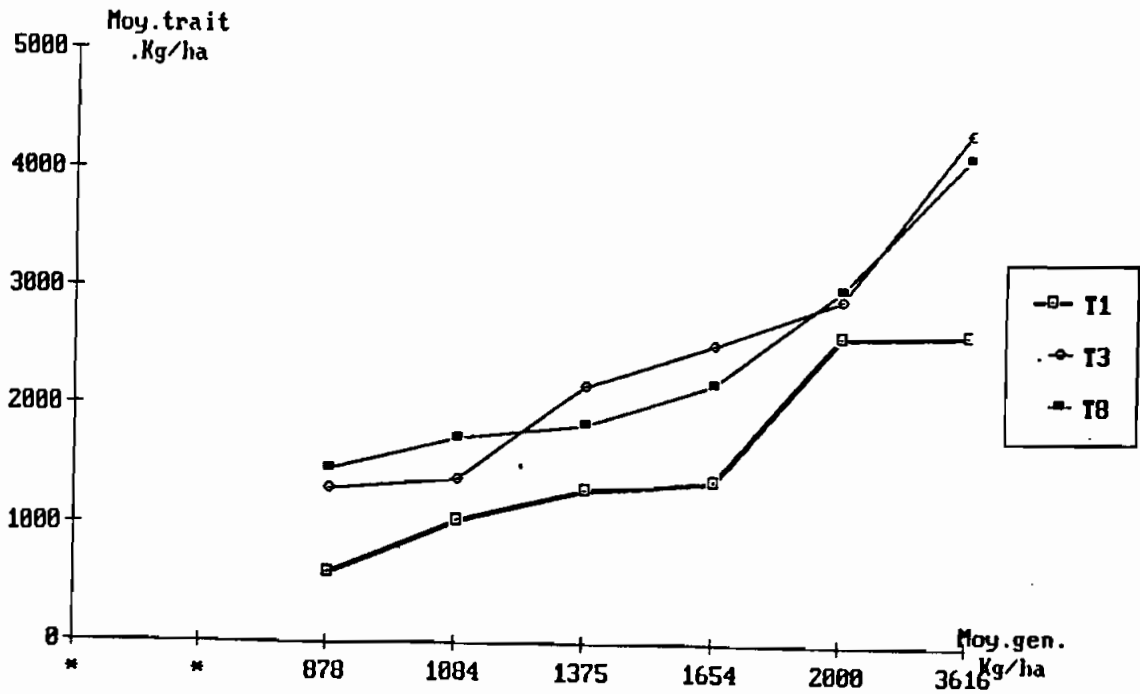


Figure 25-3 : Analyse des interactions entre les trois traitements communs aux essais en maïs IRAT 171.

b. poids de paille.

On a pu interpréter 7 résultats sur les 10 essais. L'effet primordial du travail du sol par rapport au témoin se retrouve aussi dans le rendement en paille (annexe 5b). Le billonnage cloisonné donne un effet à peu près équivalent au labour à plat (figure 25-4). Par contre à Niangoloko (1985), Kié (1984, 1986), on remarque un effet plus marqué du billonnage cloisonné sur le rendement en grain que sur le rendement en paille; ceci montre que ce dernier n'agit que de manière additionnelle au moment du remplissage des épis, notamment dans la zone à pluviométrie plus faible.

c. Composantes du rendement.

Les densités de poquets récoltés représentent en moyenne 95% des densité de semis. Il n'y a pas de différences entre les traitements.

Sur les autres composantes du rendement, on remarque globalement des écarts comparables à ceux observés dans les rendements. Ainsi, le labour à plat apporte par rapport au témoin: + 12% sur le nombre d'épis par poquet,
+ 26% sur le poids de grain par épi,
+ 5% sur le poids de 1000 grains.

Les détails des résultats sont en annexe 6.

A Niangoloko (1986), on a récolté pratiquement autant d'épis par poquet qu'en 1985, pour des rendements en grains beaucoup plus faibles (- 50% environ). Cela a été observé aussi à Kié en 1984, année sèche du point de vue de la pluviométrie (figure 25-5).

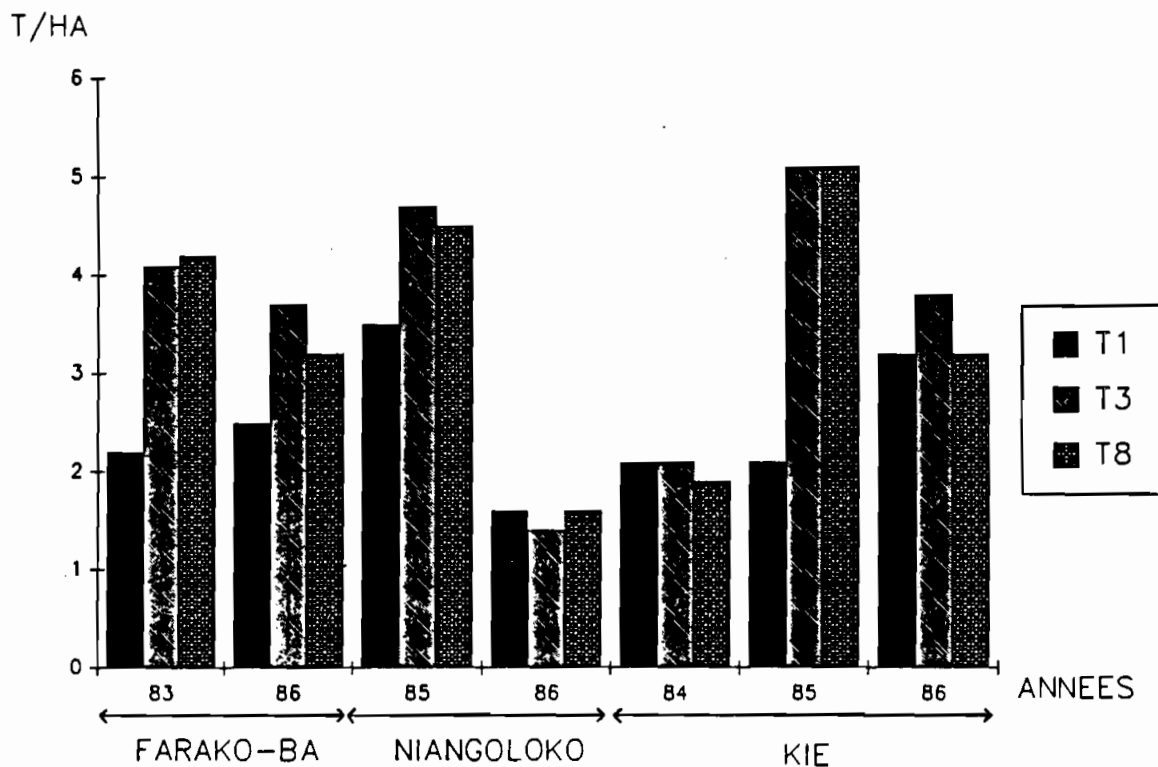


Figure 25-4 : Rendements en paille du maïs variété IRAT 171 en fonction du site et de l'année.

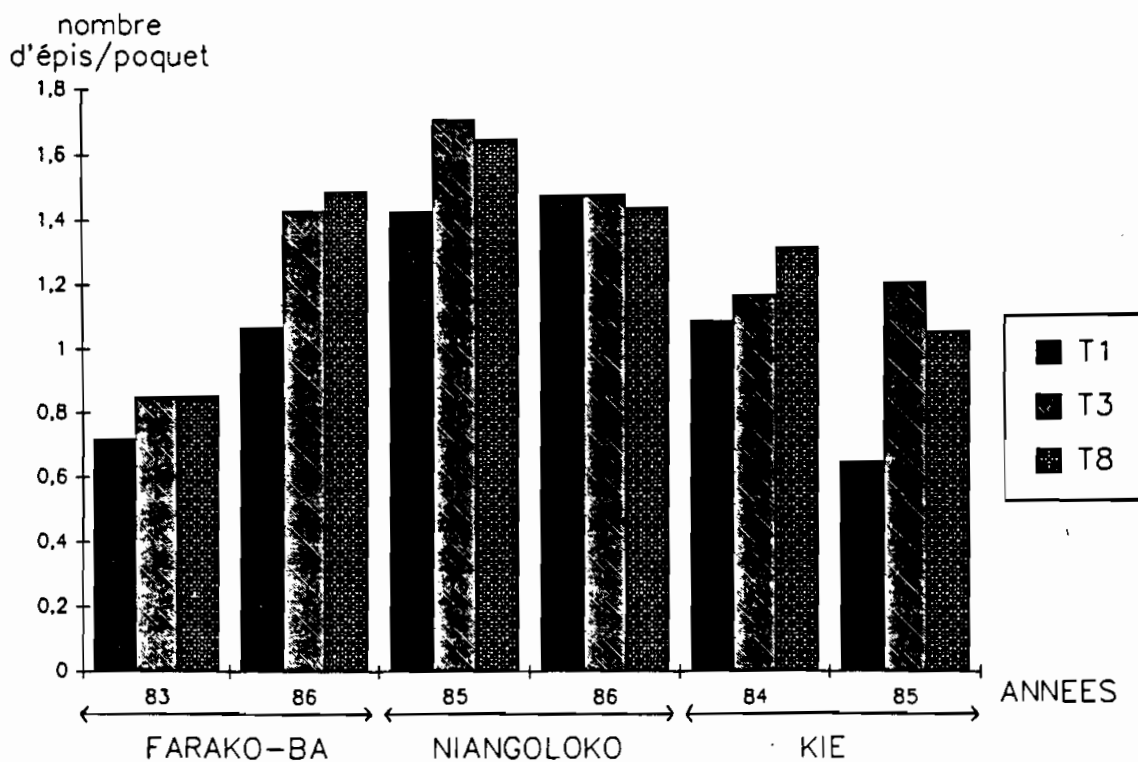


Figure 25-5 : Nombre moyen d'épis récoltés par poquet pour le maïs IRAT 171 en fonction du site et de l'année.

2.1.4. Conclusion sur les essais maïs.

Dans la zone sud-soudanienne, le travail du sol avant le semis de maïs semble indispensable pour obtenir une bonne récolte. Au sud de la zone à forte pluviométrie, on peut préférer au labour à plat, un travail en billons qui assure un meilleur ressuyage. Buttage et cloisonnement ne semblent intéressants que dans le nord de la zone sud-soudanienne.

L'effet des traitements est plus marqué sur les taux de remplissage des épis de maïs que sur les autres composantes du rendement.

2.2. Le sorgho.

2.2.1. Influence des techniques de travail du sol sur la dynamique de l'eau sous culture de sorgho.

A Saria, le suivi hydrique de deux parcelles sur des sites voisins, dont les sols sont de texture différente, permet de faire les remarques suivantes:

a. Dans la parcelle 5 (P5) dite "Saria Haut", la réserve utile du sol est de 80 mm/m de sol (annexe n° 2c). Aucun profil d'humidité n'a dépassé pF 2,5 (humidité déterminée au laboratoire sur échantillons de sol remanié et correspondant à la capacité au champ du sol).

Le labour à plat (T3) a permis d'emmagasiner plus d'eau que le témoin (T1) surtout en début d'hivernage. En 1983, on a évalué à 39 mm la différence de stock d'eau entre T3 et T1 sur une profondeur de 40 cm, deux jours après une pluie de 60 mm (figure 25-6). Onze jours après, cette réserve d'eau avait beaucoup diminué (figure 25-7). L'assèchement en T3 est plus prononcé qu'en T1, ce qui traduit le meilleur développement des plants sur le labour par rapport au témoin.

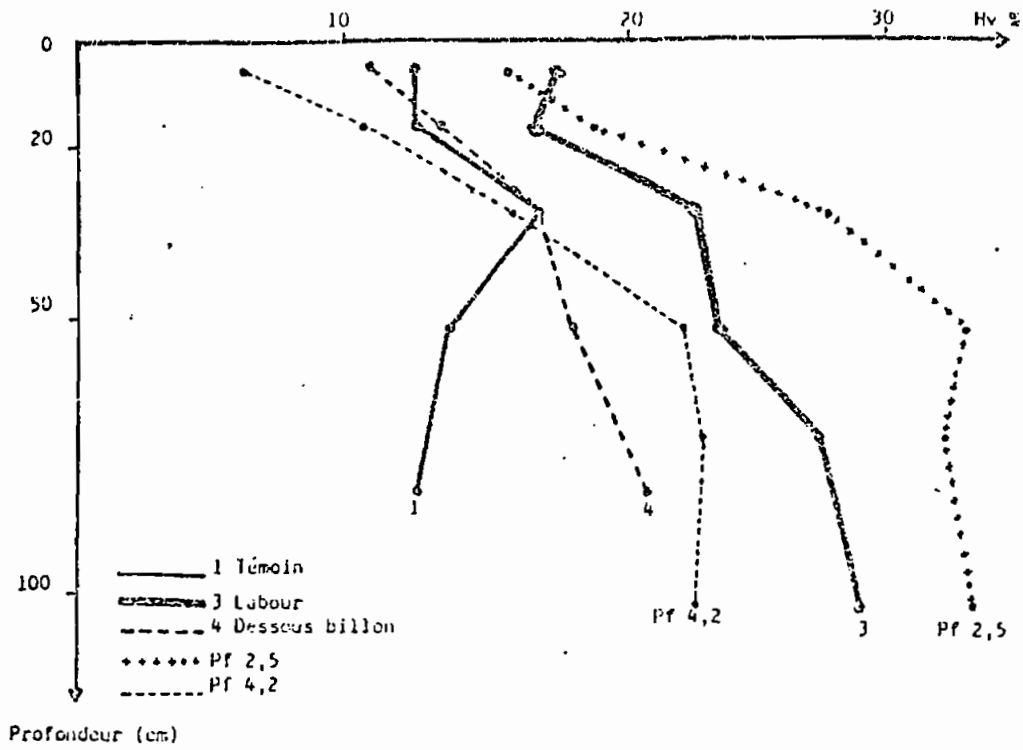


Figure 25-6 : Profils hydriques de Saria Haut au 22/06/83.

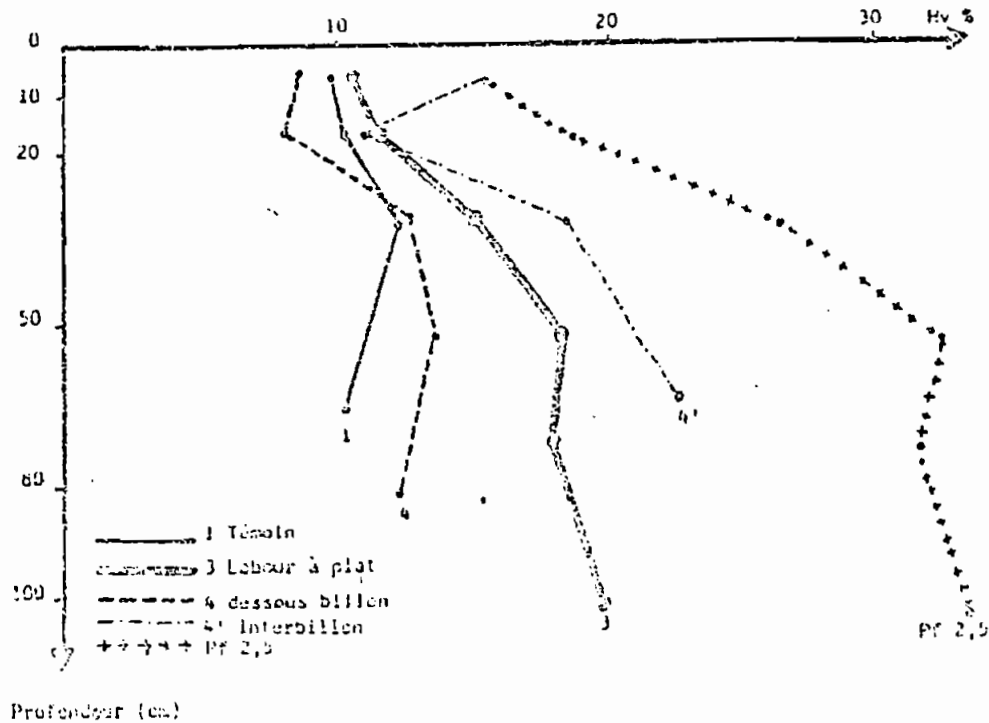


Figure 25-7 : Profils hydriques de Saria Haut au 30/06/83.

A la date du 30/06, on remarque une différence importante entre les profils effectués sous le billon et dans l'interbillon. Ce dernier est resté plus humide sur 50 cm de profondeur.

Le premier septembre, le sol est sec en raison d' un "trou pluviométrique" de 15 jours : les 35 mm reçus au cours de cette période sont tombés en 4 petites pluies dont la plus importante a eu lieu le 22 août, soit 8 jours après la pluie précédente. Seul le profil dans l'interbillon maintient un bon état hydrique.

Avec la reprise des pluies entre le 2 et le 18 septembre, toutes les parcelles ont refait pratiquement le plein de leur stock hydrique (figure 25-8). Dix jours seulement après les profils du 19 septembre, on voit que les stocks d'eau ont beaucoup baissé pour tous les traitements (figure 25-9) et à la récolte, les profils du 28 octobre sont tous inférieurs à celui du pF 4,2 (point de flétrissement permanent) sur l'horizon 0-60 cm.

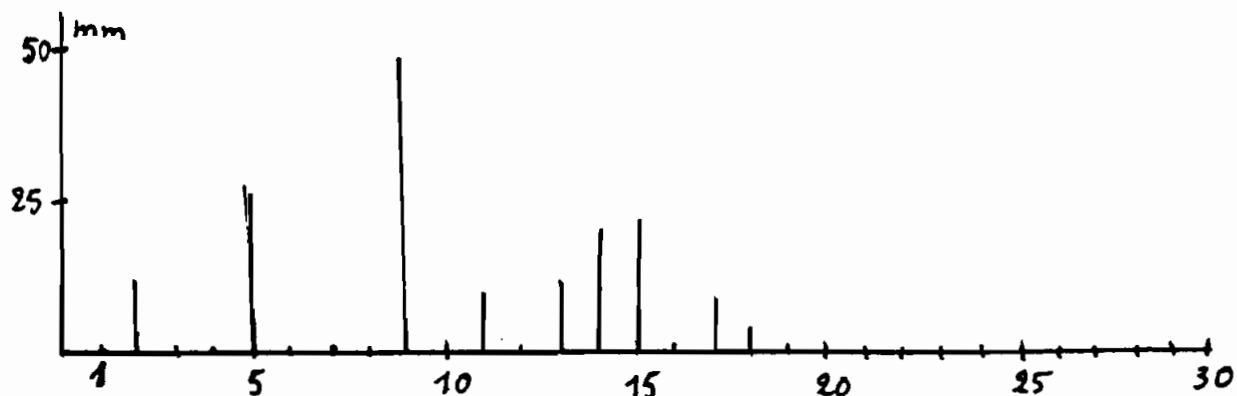


Schéma de la pluviométrie de septembre 1983 à Sarria.

b. Dans la parcelle 8 (P8) dite Saria Bas, les profils hydriques sont généralement plus humectés pour une pluie donnée. Celà est bien visible sur les profils du 22 juin 1983 présentés dans les figures 25-6 et 25-12, respectivement pour P5 et P8. Cette année là, au moment du semis, on a évalué à 45 mm en moyenne le stock d'eau supplémentaire en T3 par rapport à T1, ce qui correspondait approximativement à la fraction de la pluviométrie tombée pendant la même période (47 mm), qui a ruisselé sur la parcelle témoin du dispositif de mesure du ruissellement situé à quelques 300 m en aval de P8. Le meilleur travail du sol a donc permis de réduire le ruissellement et d'améliorer l'infiltration des pluies (ROOSE, 1971; CHARREAU et NICOU, 1971).

Après l'arrêt des pluies, on observe un assèchement graduel du sol qui diffère avec les traitements (figure 25-13). Les profils hydriques du T8 et du T4 (creux du billon) demeurent en permanence supérieurs à pF 4,2.

La parcelle d'essai de Gampéla s'est comportée, du point de vue de la dynamique de l'eau sous la culture de sorgho, de façon comparable à celui de P8 de Saria (figures 25-14 et 25-15). On a noté aussi une bonne performance du traitement 9 (scarifiage en humide + binages après chaque pluie importante) qui, en période de semis a permis de stocker 15 mm et 20 mm de plus que T1 respectivement en 1983 et 1986.

Le suivi du bilan hydrique a permis de mettre en évidence:

- l'intérêt des techniques culturales qui favorisent le stockage de l'eau particulièrement au début du cycle végétatif du sorgho;

- le dessèchement plus rapide sous le billon que dans l'interbillon;

- l'incidence de la texture des horizons superficiels qui conditionnent le statut des parcelles billonnées ou buttées et cloisonnées.

On notera enfin que les profils hydriques n'ont pas mis en évidence une supériorité du billon cloisonné T8 sur le labour à plat T3.

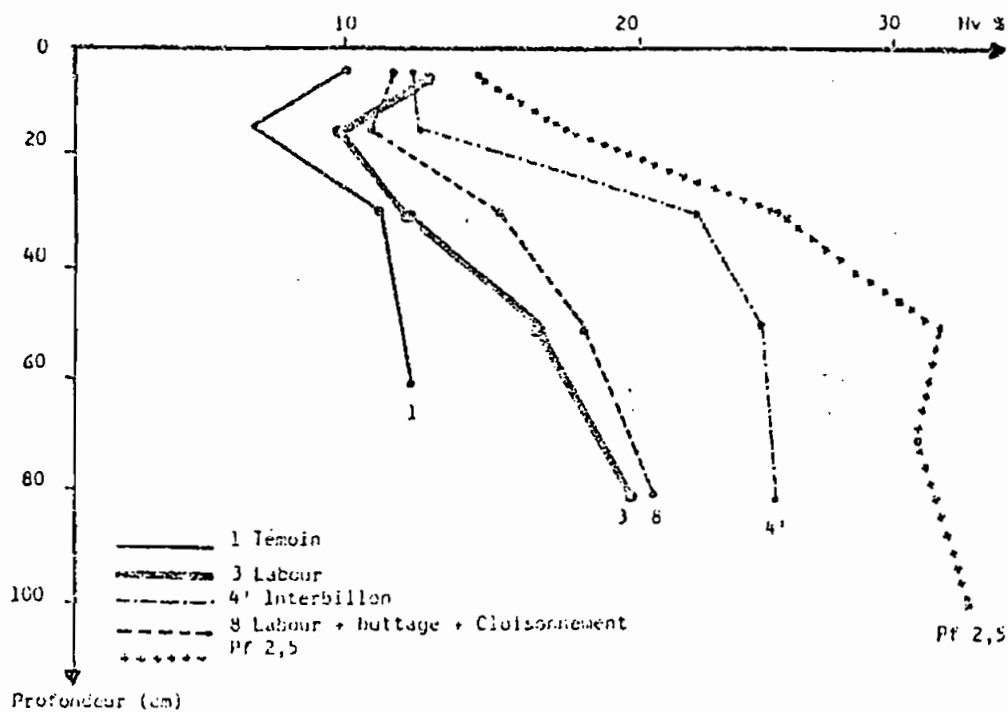


Figure 25-8 : Profils hydriques de Saria Haut au 01/09/83.

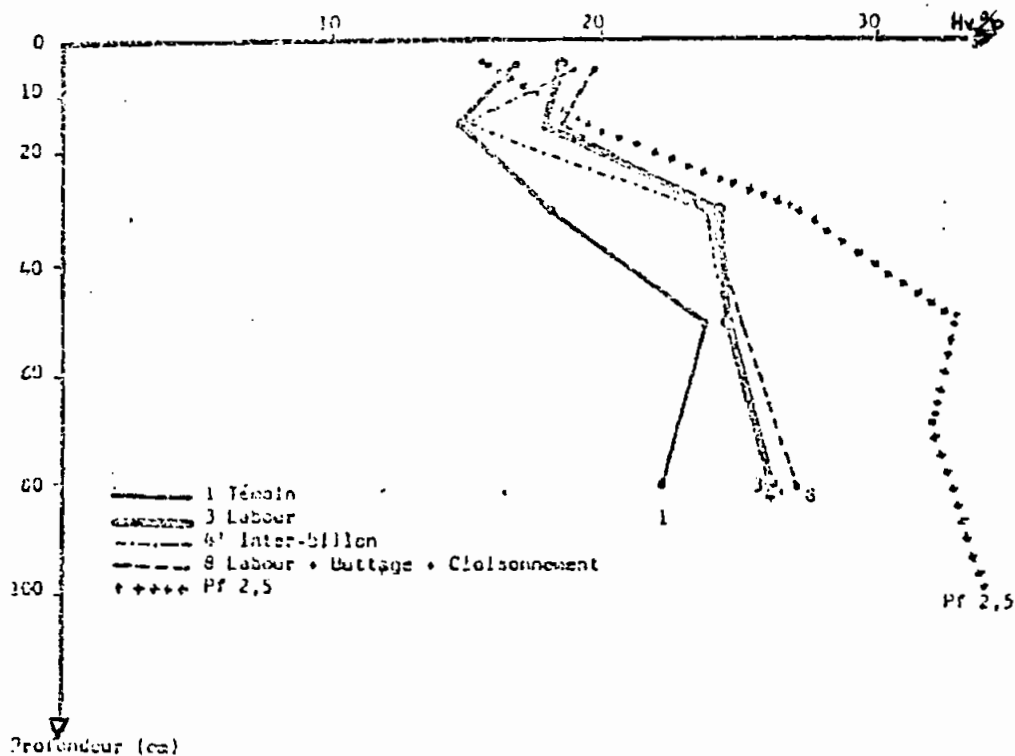


Figure 25-9 : Profils hydriques de Saria Haut au 19/09/83.

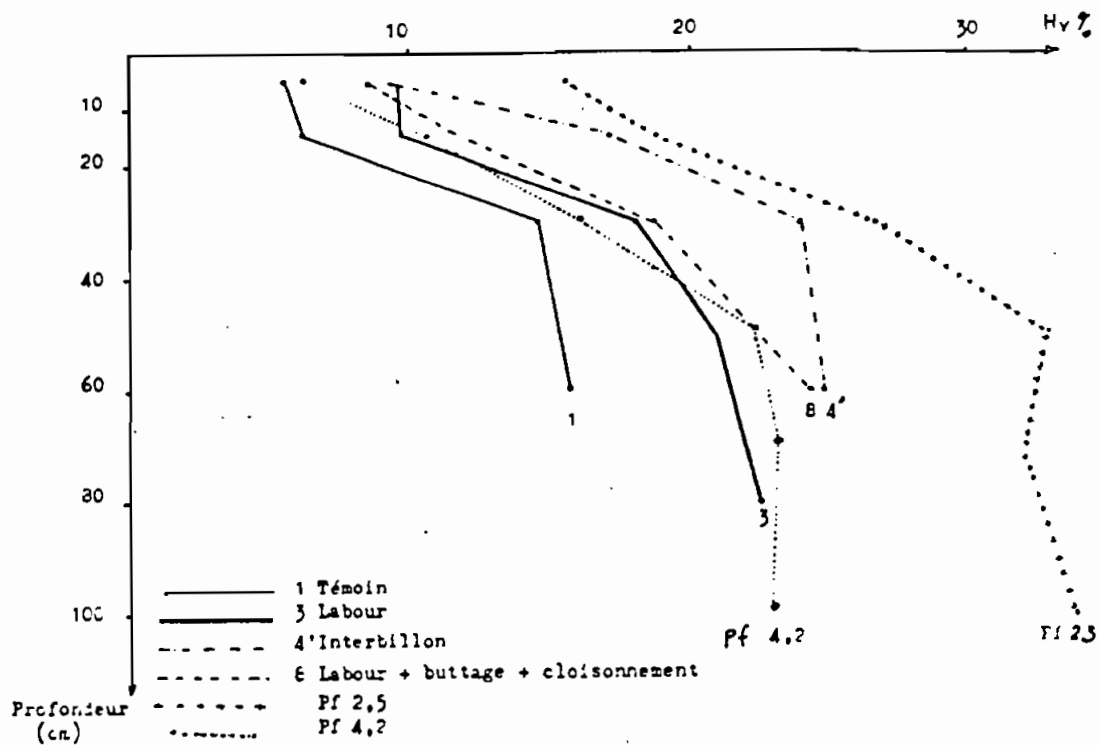


Figure 25-10 : Profils hydriques de Saria Haut au 29/09/83.

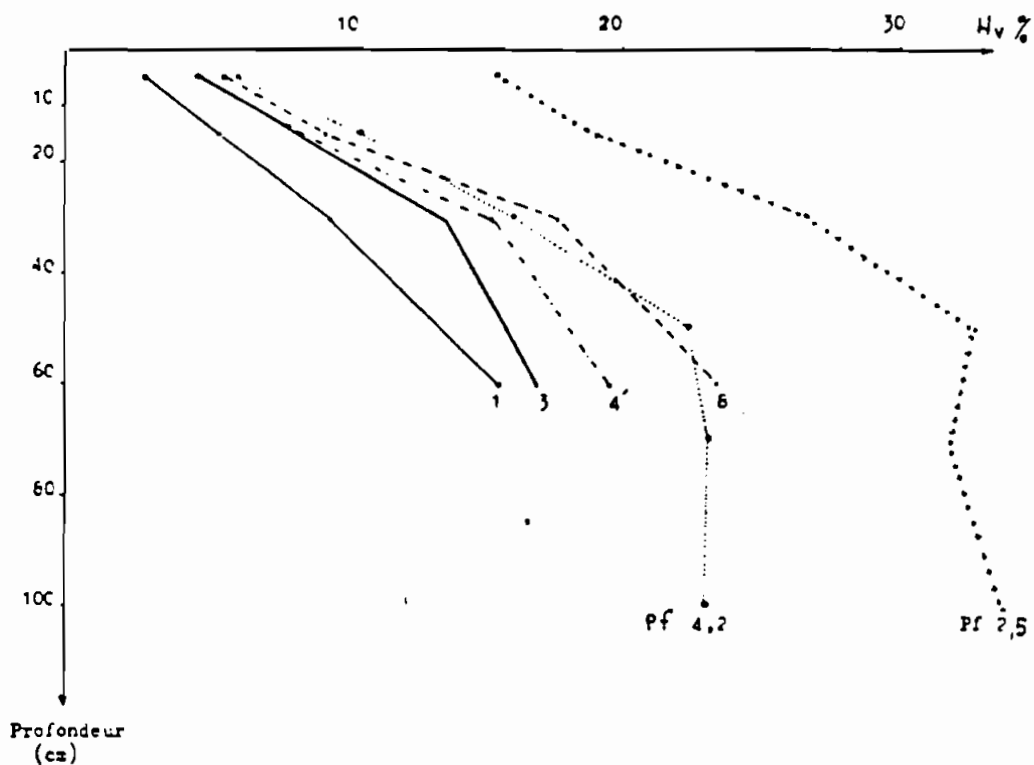


Figure 25-11 : Profils hydriques de Saria Haut au 28/10/83.

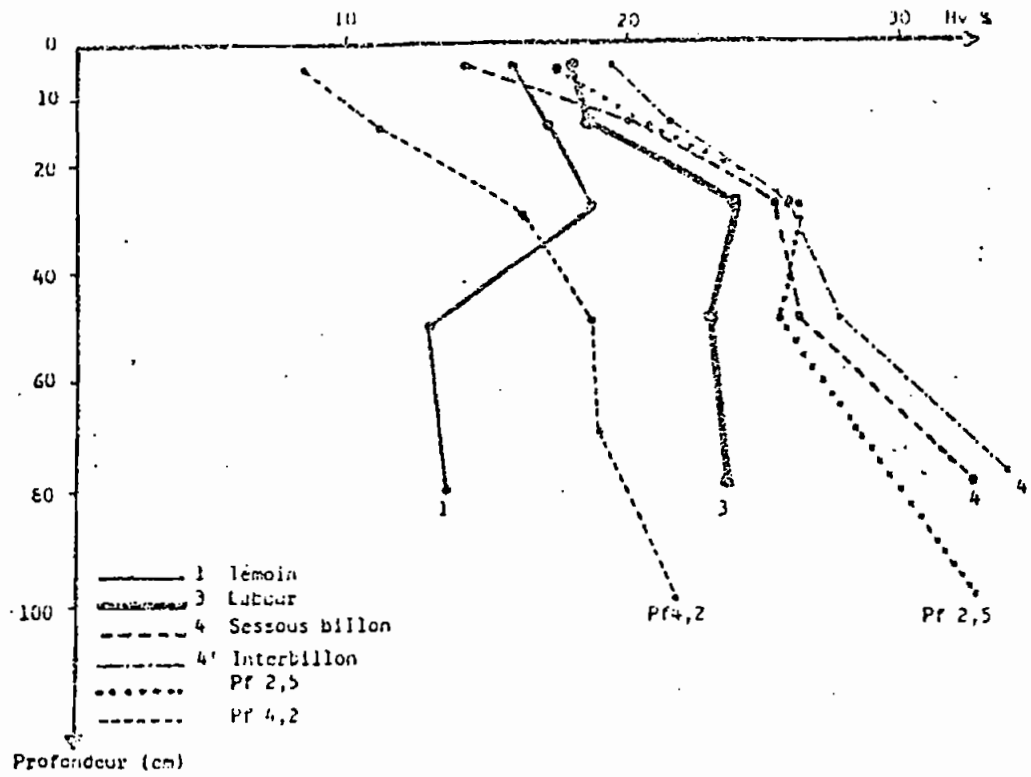


Figure 25-12 : Profils hydriques de Saria Bas au 22/06/83.

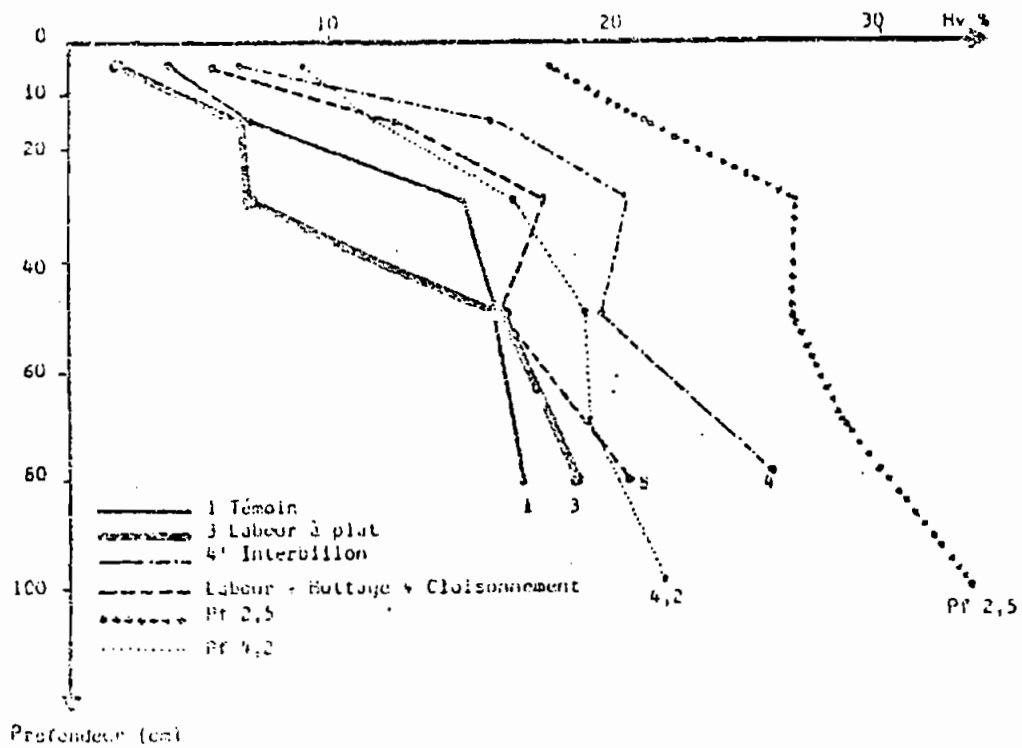


Figure 25-13 : Profils hydriques de Saria Bas au 29/10/83.

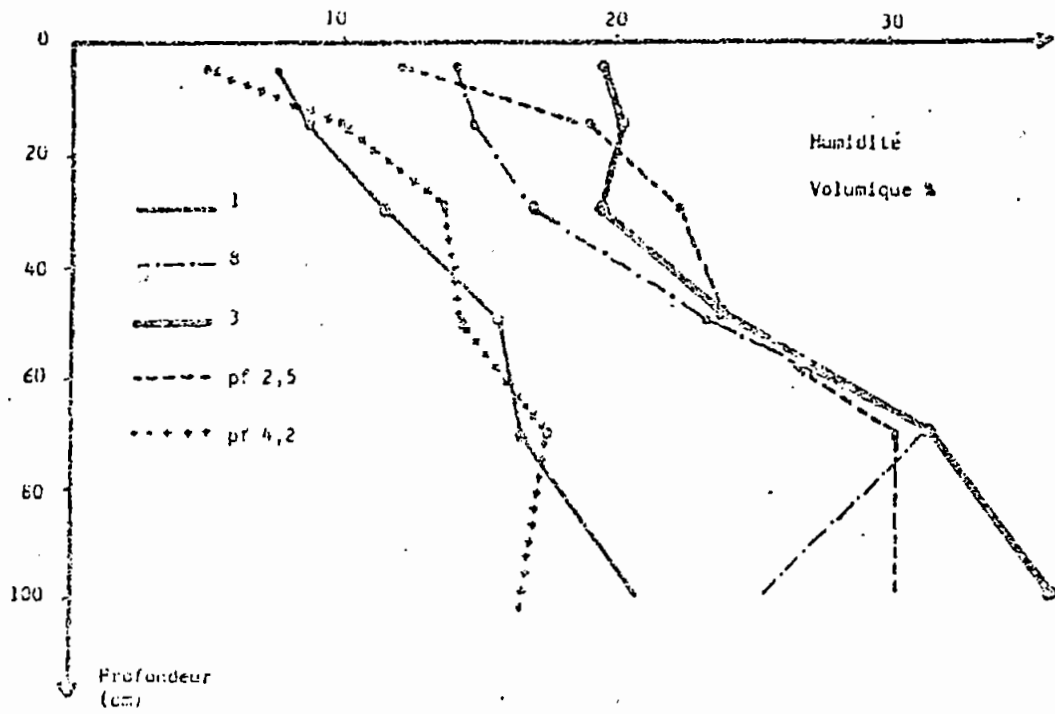


Figure 25-14 : Profils hydriques de Gampela au 22/06/82.

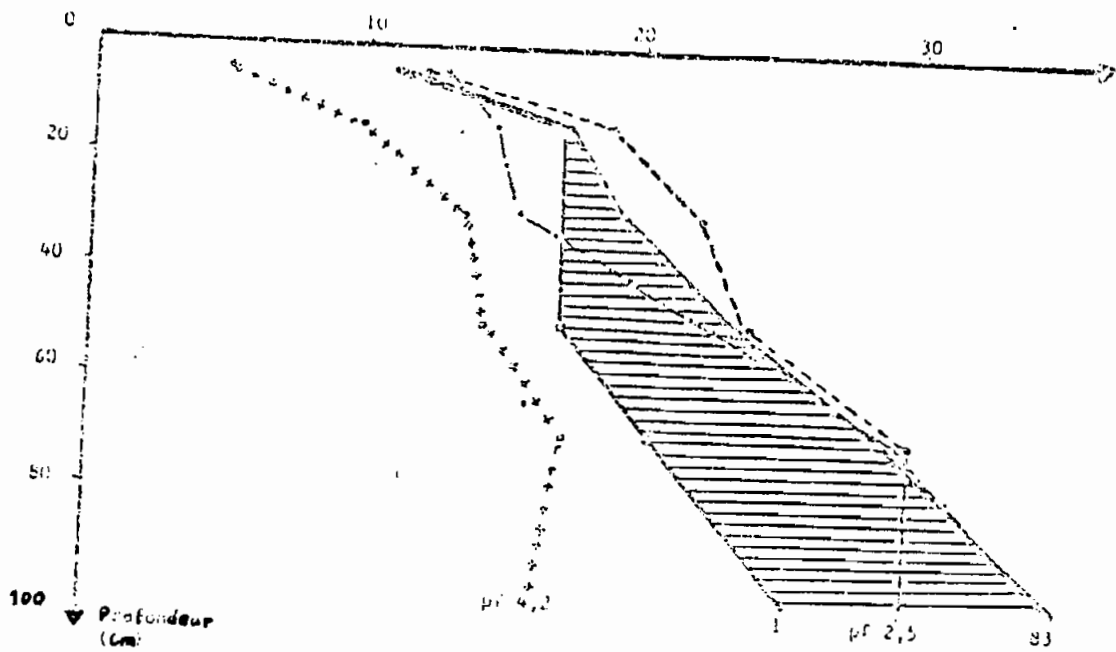


Figure 25-15 : Profils hydriques de Gampela au 05/07/82.

2.2.2. Incidence des techniques de travail du sol sur le contrôle des mauvaises herbes.

Les résultats de Saria confirment de façon générale, les observations faites sur les autres sites.

Le tableau 25-7 donne l'exemple de Saria Bas en 1983.

DATES	27/06		23/07		17/08	
TRAITEMENTS	VR %	MSg/m ²	VR %	MSg/m ²	VR %	MSg/m ²
témoin T1	80-100	42	40-80	13	40-60	17
labour à plat T3	20-60	25	10-50	9	20-40	10
labour en billons T4	-		40-80	22	20-50	18
labour+buttage+cloiso.T8	-		-		< 20	3

VR: valeur du recouvrement en pourcentage de la superficie totale de la parcelle.

MS: poids de matière sèche totale.

Tableau 25-7: Résultats des observations sur l'enherbement à Saria Bas en 1983.

Un mois après la mise en place de l'essai, les traitements (T1) et le scarifiage en sec (T2) étaient envahis essentiellement par des adventices d'espèces graminéennes composées en majorité de Dactyloctenium aegyptium, Digitaria ciliaris, Brachiaria lator, etc...

La plupart de ces espèces étant rampantes, elles induisent une dominance horizontale néfaste pour les jeunes plants de sorgho. En revanche, sur les parcelles labourées (T3) on a observé une flore pratiquement monospécifique et composée de Cassia tora.

Le labour à plat ou en billon, par son action de retournement du sol, enfouit la matière organique et aussi les graines des mauvaises herbes, ce qui inhibe la germination de certaines d'entre elles. Le buttage apparaît comme un moyen efficace de contrôle de l'enherbement. Il peut contribuer à alléger les goulots d'étranglement que constituent les sarclages, surtout en année de bonne pluviosité.

2.2.3. Influence des techniques de travail du sol sur la dynamique de l'enracinement des cultures.

L'enracinement du sorgho a été étudié dans les détails par la méthode du cadre (chapitre IV, 4.3.1.) à Saria et à Gampéla (photo n° 1 et 2). Dans les autres sites, les profils racinaires ont été réalisés de façon sporadique selon une méthode descriptive qui a permis de situer la profondeur du front d'enracinement qui intervient dans les hypothèses de simulation du bilan hydrique. L'objectif de suivi de l'enracinement est de vérifier dans les conditions de notre étude des résultats de recherche obtenus ailleurs (MAERTENS, 1964; CHOPART, 1980).

Les exemples de Saria Haut et Bas en 1983 (figures 25-16 et 25-17, photos n° 1 et 2), caractérisent bien l'enracinement du sorgho sur le Plateau Central. Les racines sont peu profondes. Elles sont limitées dans leur progression par la cuirrasse ou la carapace. Le sorgho n'atteint donc pas la profondeur maximale (180 cm) mesurée dans les sols sableux du Sénégal (CHOPART, 1980).

En revanche, on a un grand degré de colonisation des horizons par les racines et leurs ramifications, avec des différences notables présentées aux tableaux 25-8 et 25-9.

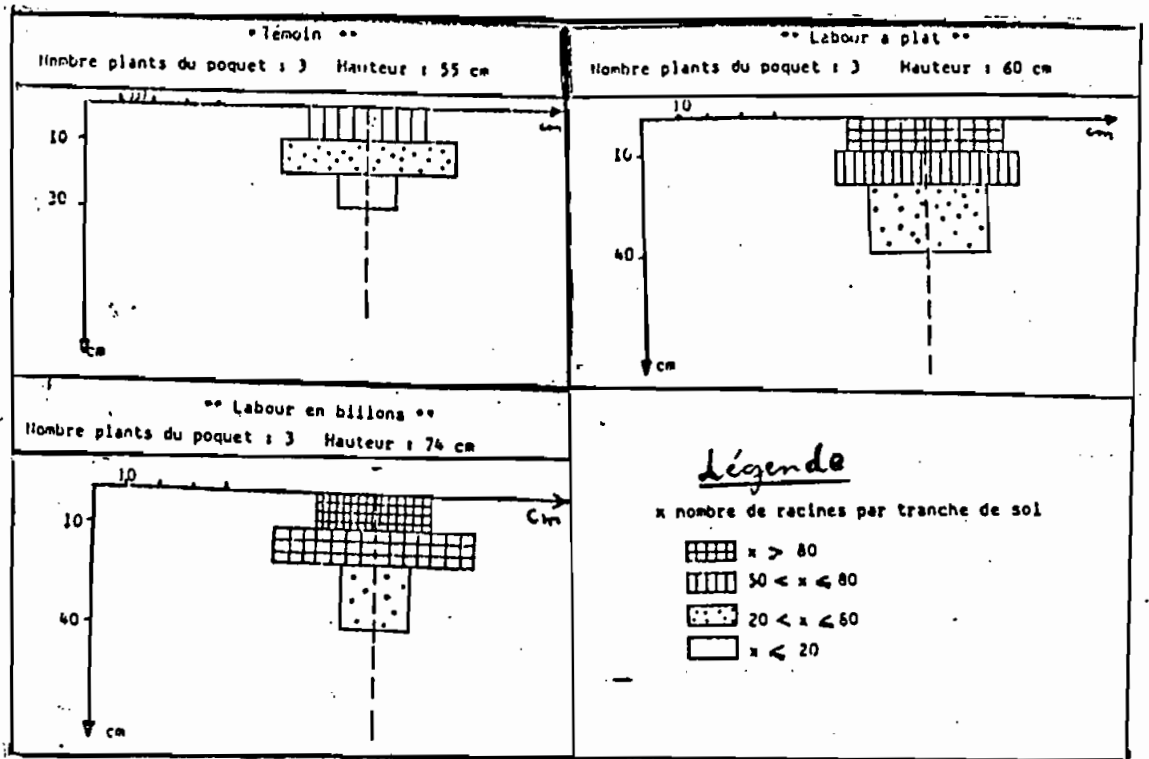


Figure 25-16 : Schémas de répartition spatiale des profils racinaires du sorgho S10 au stade début montaison à Saria Haut en 1983.

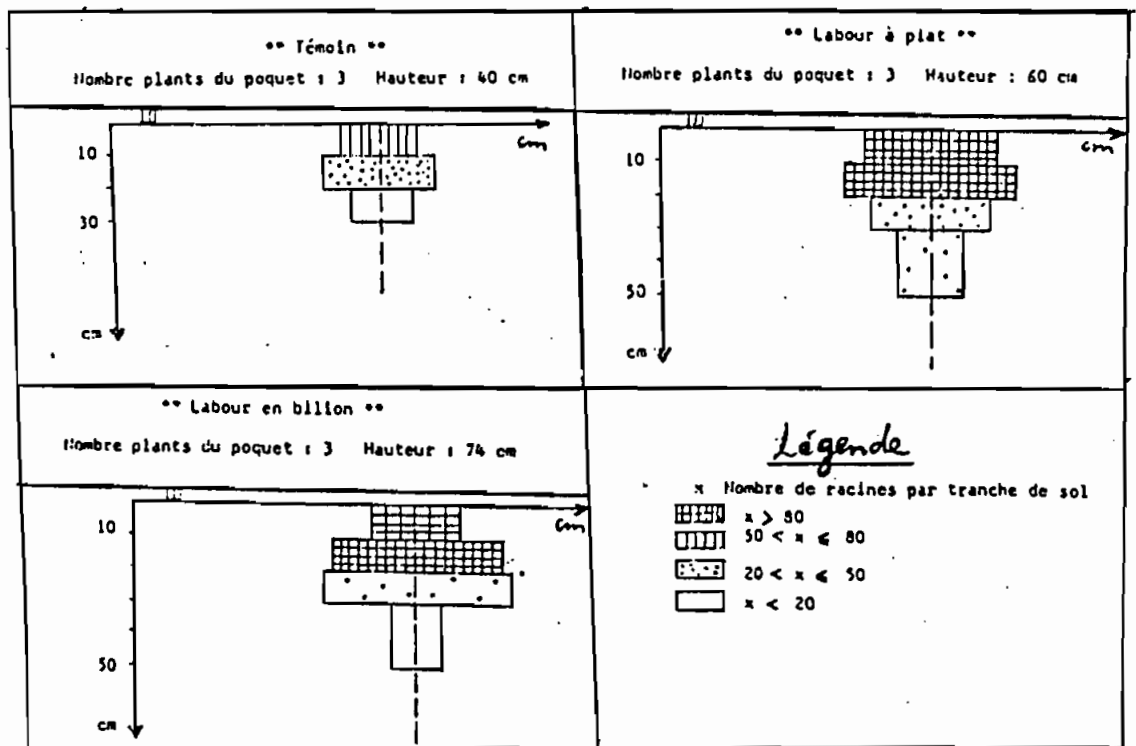


Figure 25-17 : Schémas de répartition spatiale des profils racinaires du sorgho S10 au stade début montaison à Saria Bas en 1983.



Photo n°1 : Profil d'enracinement du sorgho en fin de floraison sur un T1 (grattage superficiel du sol à la houe traditionnelle).
On compte toutes les racines apparaissant dans des carrés de 5 cm de côté délimités à l'intérieur du cadre en bois (photo Somé).



Photo n° 2 : Profil d'enracinement du sorgho en fin de floraison sur un T3 (labour à plat à la traction bovine).
On note un enraccinement plus dense et plus profond que sur le T1 (photo Somé).

TRANCHE DE SOL en cm	DEBUT MONTAISON			FIN FLORAISON			
	T1	T3	T4	T1	T3	T4	T8
0-20	85	151	188	248	228	226	272
20-FE	11	32	28	85	138	173	100

FE: front d'enracinement de la culture, généralement limité par la cuirasse.

Tableau 25-8: Nombre moyen de racines et de ramifications visibles par tranche de sol à Saria Haut.

TRANCHE DE SOL en cm	DEBUT MONTAISON			FIN FLORAISON			
	T1	T3	T4	T1	T3	T4	T8
0-20	82	160	164	172	268	218	227
20-FE	13	65	33	81	174	175	230

FE: front d'enracinement de la culture, généralement limité par la cuirasse.

Tableau 25-9: Nombre moyen de racines et de ramifications visibles par tranche de sol à Saria Bas.

Les différences entre les traitements sont visibles surtout au stade montaison. A la fin de la floraison, les différences s'estompent.

Entre les deux sites, on a des différences arithmétiquement significatives, avec le labour à plat qui favorise un plus grand nombre de racines à Saria Bas où le sol est plus argileux qu'à Saria Haut.

En dépit du manque de précision de la méthode utilisée, les résultats obtenus ont permis d'estimer de façon chiffrée les modifications favorables induites par les techniques culturales étudiées sur le volume d'enracinement du sorgho.

2.2.4. Influence des techniques de travail du sol sur la croissance et le développement du sorgho.

Les observations phénologiques qui ont été faites sur la culture du sorgho concordent d'un site à l'autre en fonction des méthodes culturales employées.

a. Observations sur la levée.

On remarque, sur tous les essais, une meilleure levée du sorgho sur le labour à plat par rapport au labour en billon et au témoin. Le tableau 25-10 donne l'exemple du comportement de la variété S10 à Gampéla en 1984.

TRAITEMENTS	T1	T3	T4	T7	T8	T11
nombre moyen de poquets levés /ha	22 842	29 387	23 435	29 735	29 701	29 940
‡	73	94	75	95	95	96

Tableau 25-10: impact du travail du sol sur la levée du sorgho S10 à Gampéla en 1984.

Ces différences s'expliquent évidemment par le fait que le travail du sol assure une bonne préparation du lit de semence et que le labour à plat, à la différence du billon (T4) emmagasine plus d'eau dans les horizons superficiels du sol. Mais on peut aussi penser à l'influence des baisses de température du sol induites par le labour par rapport au sol non travaillé. C'est du moins ce que nous avons pu constater à Saria en 1988, dans un essai utilisant les mêmes techniques de travail du sol (tableau 25-11).

BLOCS	Bloc III				Bloc V				
	TRAITEMENTS	semis (30/06)		levée (06/07)		semis (30/06)		levée (06/07)	
	profd.	14 heures		14 h	18 h	14 h	18 h	14 h	18 h
T1	5 cm	24 ± 3	24 ± 2	31±0.2	29±0.3	27 ± 1	25 ± 3	30 ± 1	30 ± 1
	15 cm	28 ± 1	24 ± 4	30±0.1	30 ± 1	28 ± 1	20 ± 2	29±0.4	30±0.2
T3	5 cm	21±0.5	21 ± 5	31±0.2	30±0.1	27 ± 1	23 ± 4	30±0.5	30±0.3
	15 cm	28±0.5	24 ± 5	30±0.5	30 ± 1	28 ± 1	23 ± 3	30±0.5	30±0.2
T8	5 cm	22 ± 3	23 ± 2	30±0.5	29 ± 1	26 ± 1	22 ± 4	31 ± 1	30±0.3
	15 cm	25 ± 2	20 ± 1	30±0.4	29±0.2	28±0.5	23 ± 3	29 ± 1	30±0.4
T11	5 cm	22 ± 2	21 ± 4	30±0.4	28 ± 1	26 ± 2	23 ± 4	31 ± 1	31 ± 1
	15 cm	28 ± 1	22 ± 4	30 ± 1	30±0.3	27±0.4	21 ± 5	30±0.4	31±0.3

Tableau 25-11 : Températures du sol au semis et à la levée du sorgho dans l'essai Techniques Culturelles X variétés de sorgho de la parcelle 3 de Saria, 1988.

Le labour à plat à 12-15 cm de profondeur a favorisé dans cet essai une réduction moyenne de la température du sol de 1,5 à 2°C dans l'horizon 0-5 cm, au moment du semis, à 14 heures, où ont lieu généralement les maxima thermiques quotidiens de l'air ambiant.

Six jours après, à la levée, les écarts de température entre les parcelles travaillées (T3, T8 et T11) et le témoin (T1) se réduisent sensiblement. Ils ne sont plus que de 0,5 à 1°C.

Ces différences sont-elles significatives pour influencer sur la levée du sorgho ? Nous n'avons pas pu aller plus loin dans les investigations.

b. La croissance végétative.

Le travail du sol permet au sorgho d'avoir une croissance beaucoup plus rapide et une taille plus élevée que le témoin (T1) (figure 25-18, photo n° 3). Mais en fin du cycle végétatif, on note un phénomène de rattrapage dont l'importance varie avec la variété et le site (figures 25-19 et 25-20).

c. Dates de début d'épiaison.

On a observé un effet très marqué des techniques d'amélioration de l'alimentation hydrique sur les dates du début de l'épiaison et de la floraison, comme le montre le tableau 25-12.

	T1	T3	T4	T8	T11
SARIA BAS	17/4	10/9	4/9	10/9	10/9
SARIA HAUT	20/9	18/9	11/9	19/9	19/9

Tableau 25-12 : Dates du début de l'épiaison du sorgho S10 semé le 27/06/1984 à Sarria.



Photo n° 3 : Comparaison de la taille du sorgho IRAT 277 entre le T1 (grattage superficiel du sol à la daba à gauche) et le T8 (labour à plat + buttage cloisonné à droite) deux mois après la levée à Saria Bas (P8) août 1986 (photo Somé)



Photo n° 4 : Au lendemain d'une pluie de 22 mm à Saria Bas en 1986, les bassins de micro-captage des buttages cloisonnés retiennent encore l'eau qui pourra s'infiltrer au profit du sorgho, septembre 1986 (photo Somé)

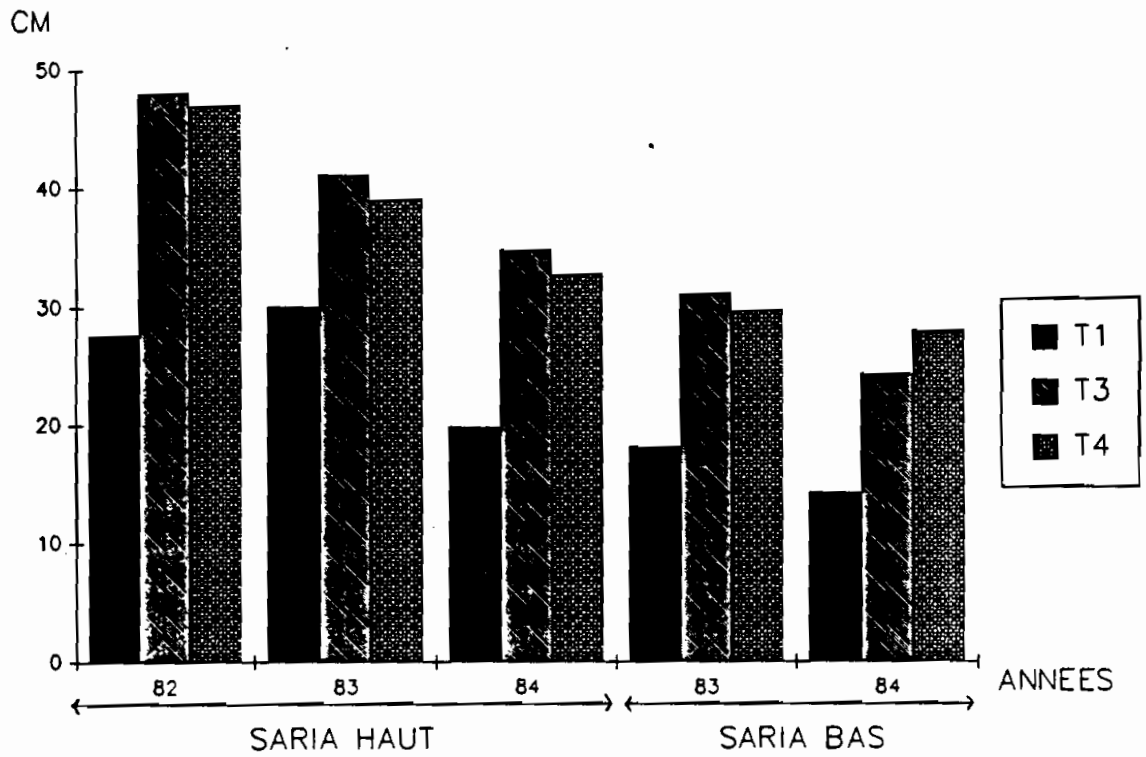


Figure 25-18 : Hauteur du sorgho S10 un mois après le semis.

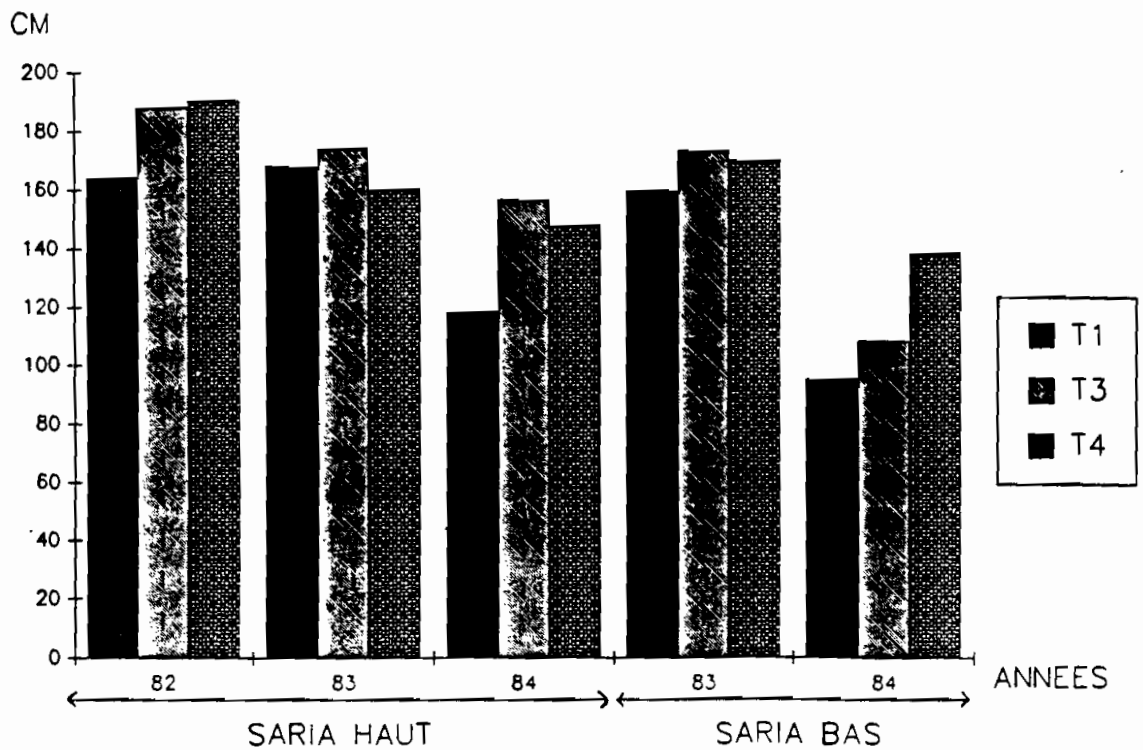


Figure 25-19 : Hauteur du sorgho S10 trois mois après le semis.

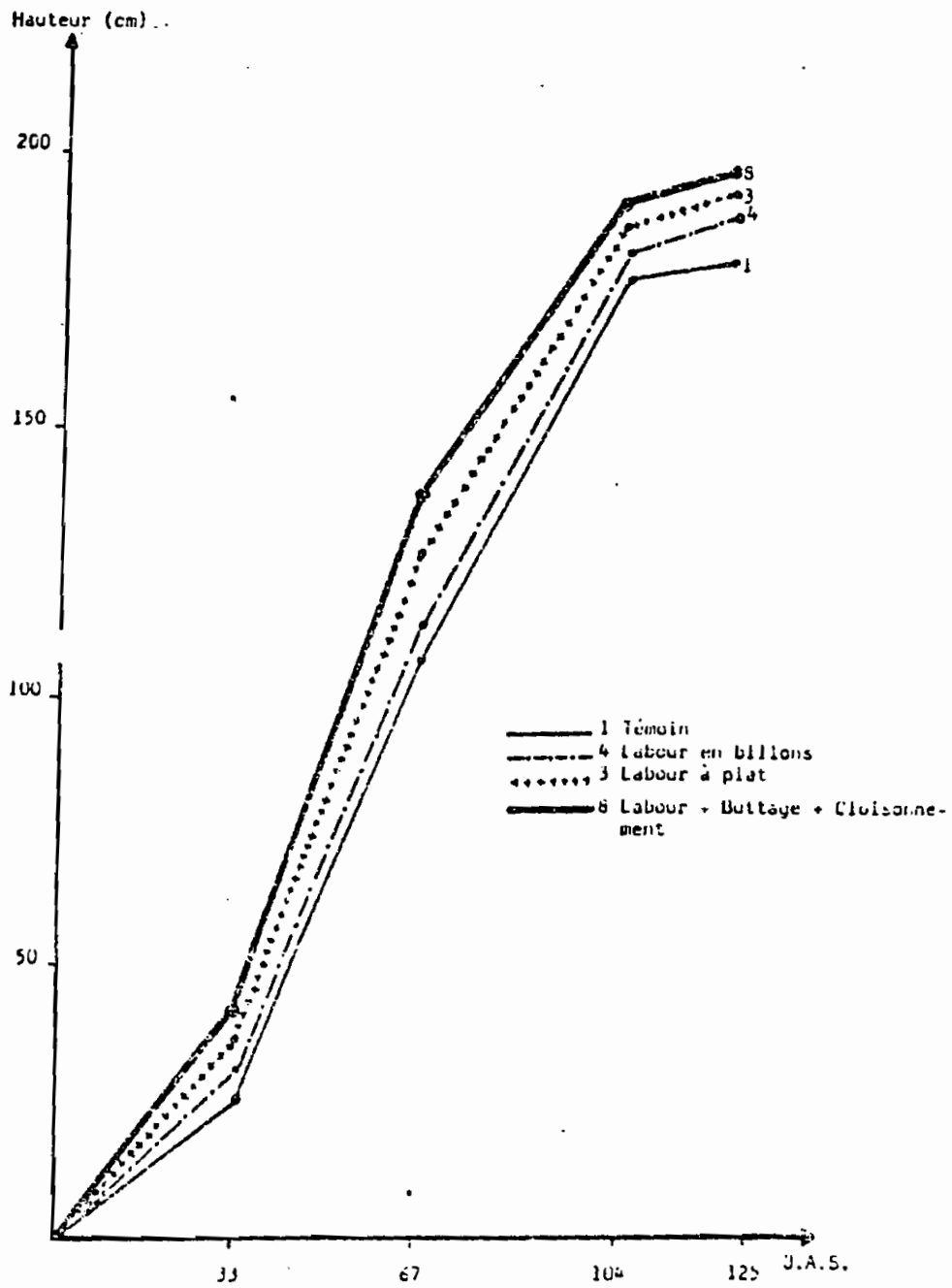


Figure 25-20 : Croissance linéaire du sorgho S10 à Saria Bas (1983).

En année de bonne pluviosité comme 1986, on observe aussi une épiaison-floraison échelonnée entre les traitements. C'est ainsi qu'en 1986, tous les traitements comportant un travail du sol avaient atteint 100% de l'épiaison le 3 septembre pour le sorgho IRAT 277 qui avait été semé le 14 juin.

La précocité de l'épiaison-floraison est un facteur très important dans le rendement compte tenu de la pluviosité en fin de cycle de culture.

2.2.5. Effets des techniques de travail du sol sur le rendement et les composantes du rendement du sorgho.

a. Analyse de l'effet des techniques de travail du sol sur les rendements en grain et en paille.

Nous avons analysé de façon comparative 22 essais de sorgho.

a.1. Le scarifiage en sec (T2) à l'aide d'un "pic fouilleur", présent dans 5 essais, a donné sur 2 ans un rendement moyen en grain de 1362 kg/ha, alors que la moyenne des rendements du témoin (T1) dans les mêmes essais étaient de 1401 kg/ha.

Nous en avons conclu que cette technique (dans les conditions actuelles de sa réalisation), ne présentait pas d'intérêt. Nous n'avons pas trouvé de type de dent qui permette d'"éclater" le sol sec à plus de 10 cm de profondeur en traction bovine. Cette technique est destinée à favoriser une meilleure pénétration de l'eau des premières pluies et à réduire, de ce fait, le ruissellement et l'érosion.

Ce traitement a donc été abandonné dans les essais après 2 années d'expérimentation.

a.2. Les effets des autres traitements varient selon les années, les sites et les variétés, comme le montrent les figures 25-21 et 25-22, ainsi que l'annexe 7.

Nous ne sommes pas parvenu à regrouper les essais par la méthode d'analyse statistique à notre disposition.

Nous avons seulement étudié (DENIS et VINCOURT, 1982) les interactions entre les trois traitements communs (T1, T3 et T8) sur 10 des essais en sorgho. Comme le montre la figure 25-23, il n'y a pas d'interaction entre ces différents traitements quel que soit l'essai.

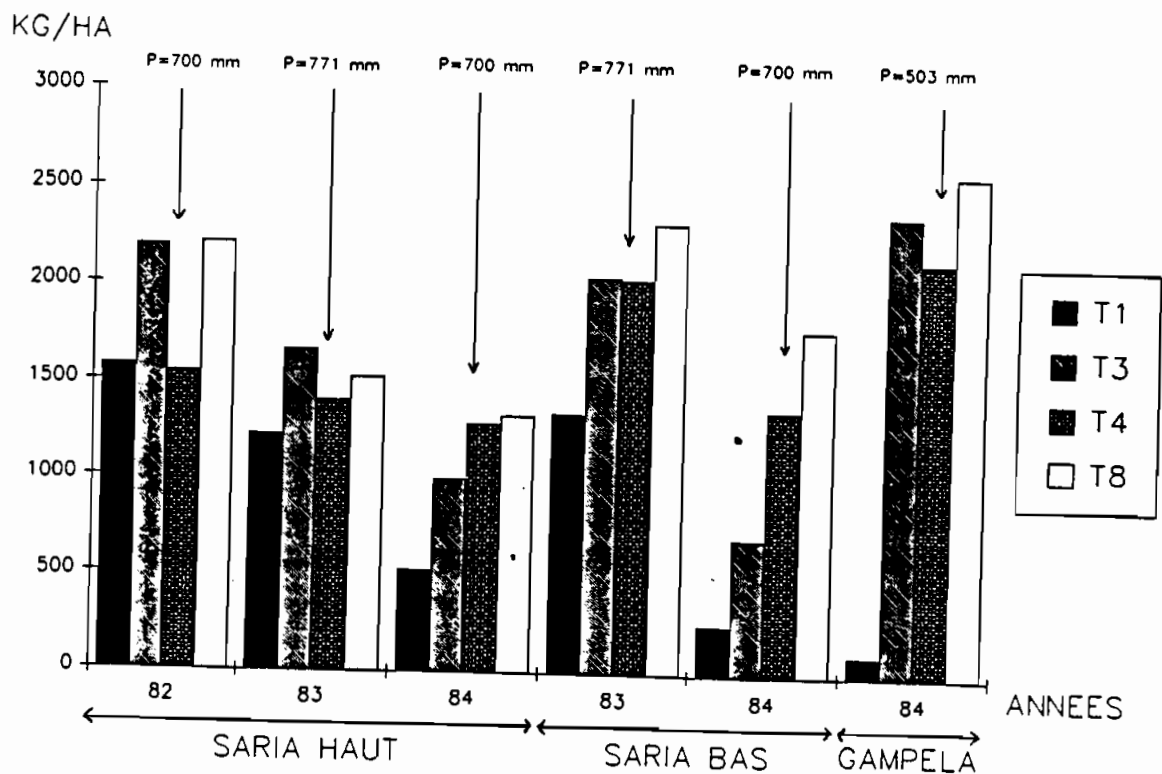


Figure 25-21 : Rendements en grain du sorgho S10 en fonction du site et de l'année.

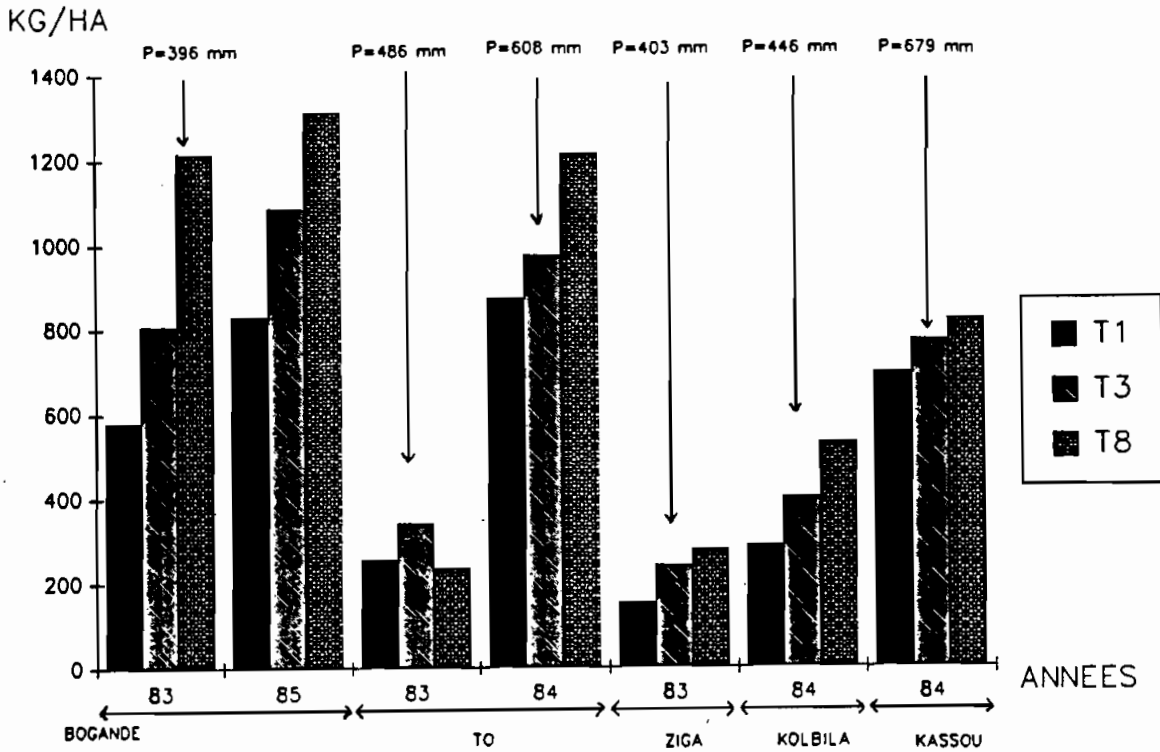


Figure 25-22 : Rendements en grain des variétés locales de sorgho en fonction du site et de l'année.

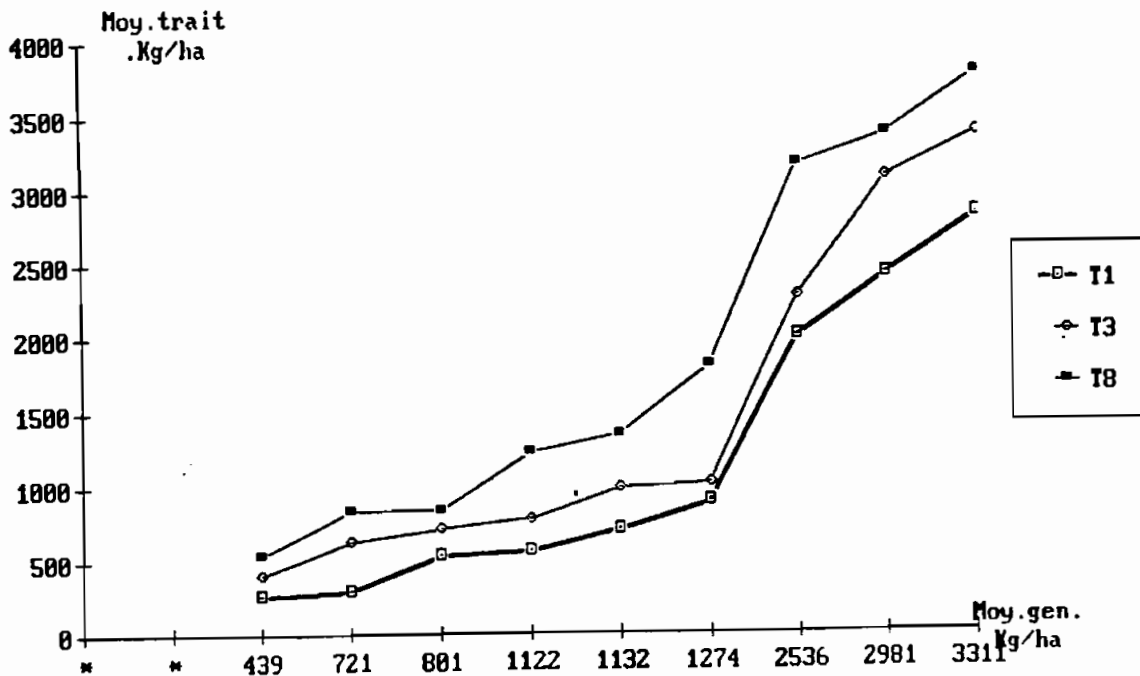


Figure 25-23 : Analyse des interactions entre les traitements communs (T1, T3, T8) appliqués au sorgho.

On peut donc dire que chaque traitement a un comportement indépendant selon le site et l'année. Les écarts observés en un site d'expérimentation entre les traitements peuvent donc être extrapolés dans d'autres localités et années dans le cas du sorgho.

Nous analyserons donc les effets des traitements en regroupant les données en fonction :

- des variétés
- des sites
- des années
- de la place des essais sur la toposéquence.

a.3. Effet des variétés.

La figure 25-21 montre les rendements en sorgho variété S10 en fonction du site et de l'année d'expérimentation. On a vu au chapitre IV que le potentiel de production de cette variété est de 35 à 40 qx/ha (cf. tableau 24-5). Nos conditions d'expérimentation n'ont pas permis d'atteindre un tel rendement.

- A Saria, pour des pluviométries annuelles sensiblement égales (700 à 771 mm), on observe de grandes variations des rendements pour tous les traitements. Le nombre de jours de pluie était respectivement de 60, 53 et 62 pour les 3 années (1982, 1983 et 1984) ; les différences se situent donc, toutes choses égales par ailleurs, dans chaque essai, au niveau de la répartition temporelle durant la saison et de la fréquence des différents types de pluie.

- Le travail du sol a toujours eu un effet très positif sur le rendement. Mais cet effet semble plafonner avec les variétés traditionnelles quand la pluviométrie du lieu est bonne. C'est le cas à To et Kassou en 1984, à Bogandé en 1985 (figure 25-22).

- L'impact des techniques de travail du sol est plus apparent les années de faible pluviosité, aussi bien pour la variété améliorée que pour les populations locales. Cependant, les rendements de ces dernières restent toujours faibles (<1500 kg/ha) même avec une bonne pluviométrie.

a.4. Effet du site.

Les variations des rendements en grain et en paille en fonction des années et des variétés dans le même site d'essai sont présentés ici à titre d'exemples pour Saria Haut et Saria Bas (figures 25-24 à 25-27). A Saria Haut en 1984, on a obtenu plus de paille qu'en 1983, mais moins de grain. Cela dépend de la pluviosité de chaque campagne depuis la phase épiaison-floraison jusqu'à la maturation.

En 1984, on a eu 16 jours successifs sans une pluie supérieure à 15 mm après le 19 août, et la dernière pluie utile aux plantes (37 mm) a eu lieu le 4 septembre. En 1983 par contre, les "trous pluviométriques" à la même période n'ont pas excédé 7 jours et la dernière pluie utile est venue le 17 septembre.

	SARIA HAUT			SARIA BAS		
ANNEE	T1	T3	T8	T1	T3	T8
1983	0.38	0.37	0.39	0.34	0.40	0.40
1984	0.13	0.20	0.28	0.12	0.26	0.40

**Tableau 25-13 : Rapport grain/paille du sorgho S10
à Saria Haut et Saria Bas.**

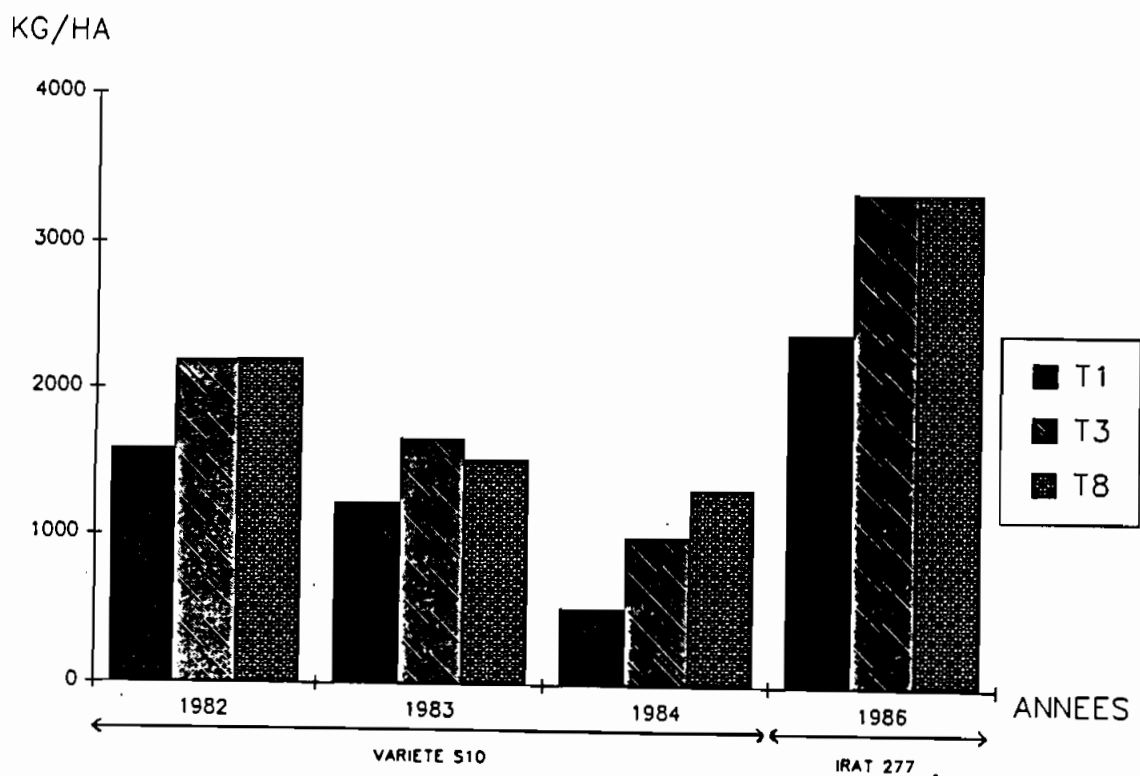


Figure 25-24 : Rendement en grain du sorgho sur le site de Saria Haut en fonction des années d'essai.

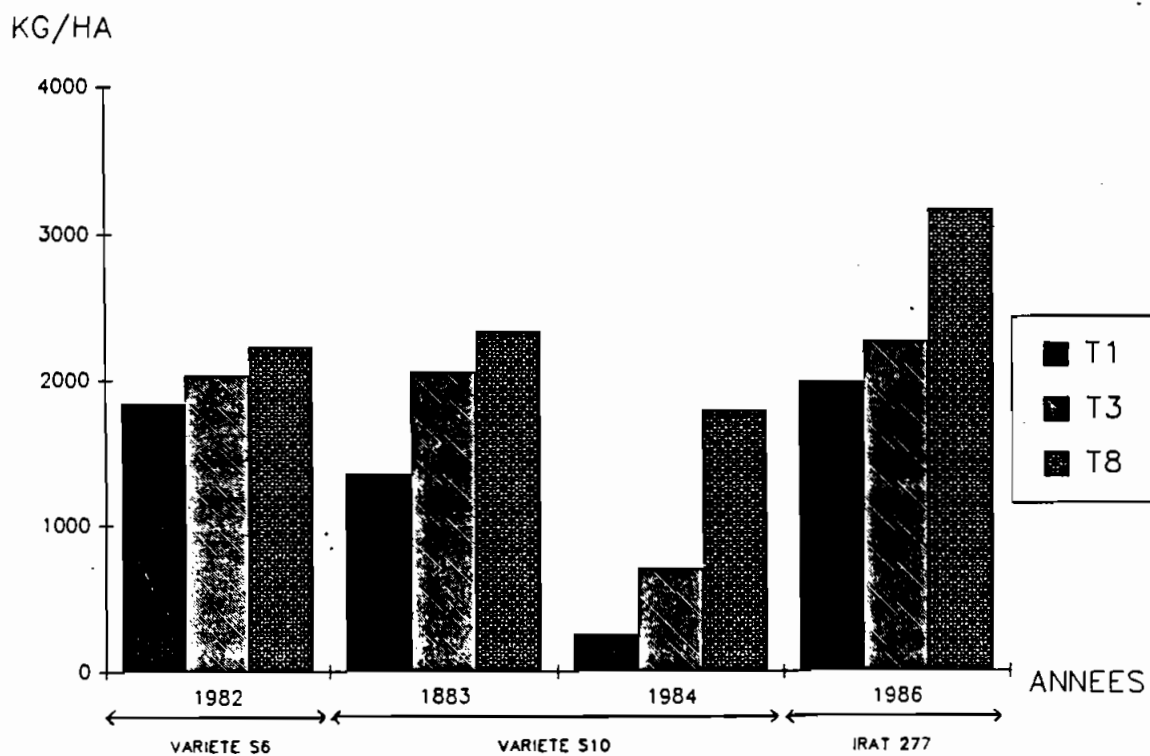


Figure 25-25 : Rendement en grain du sorgho sur le site de Saria Bas en fonction des années d'essai.

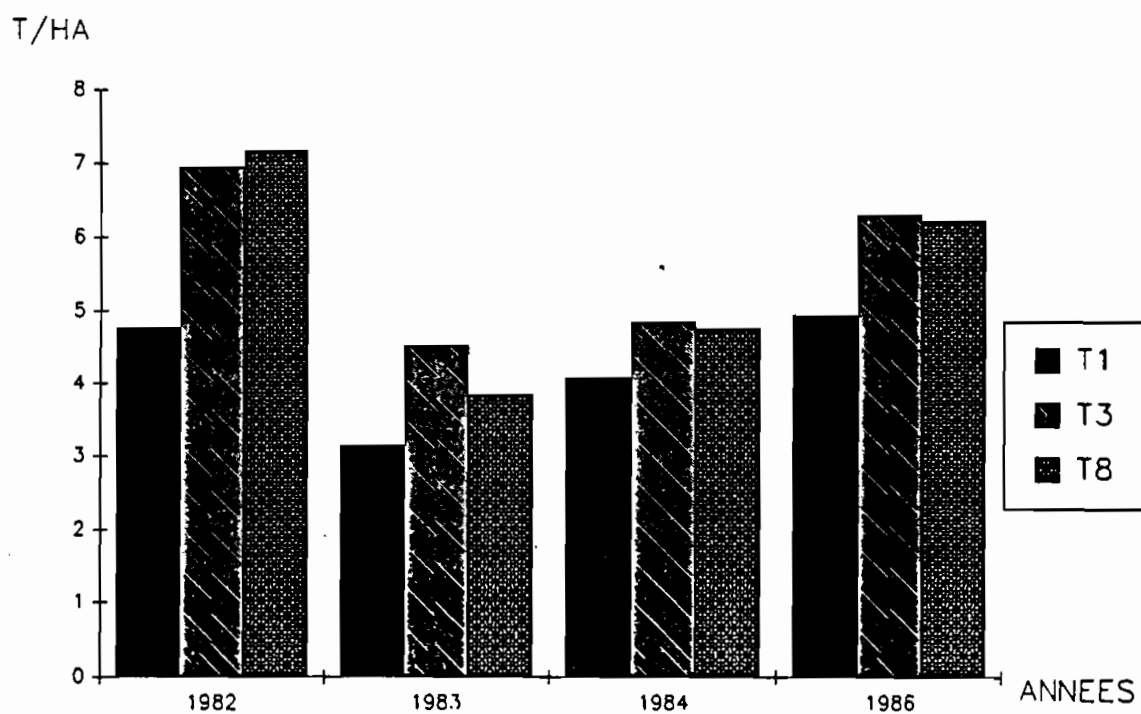


Figure 25-26 : Rendement en paille du sorgho sur le site de Saria Haut en fonction des années d'essai.

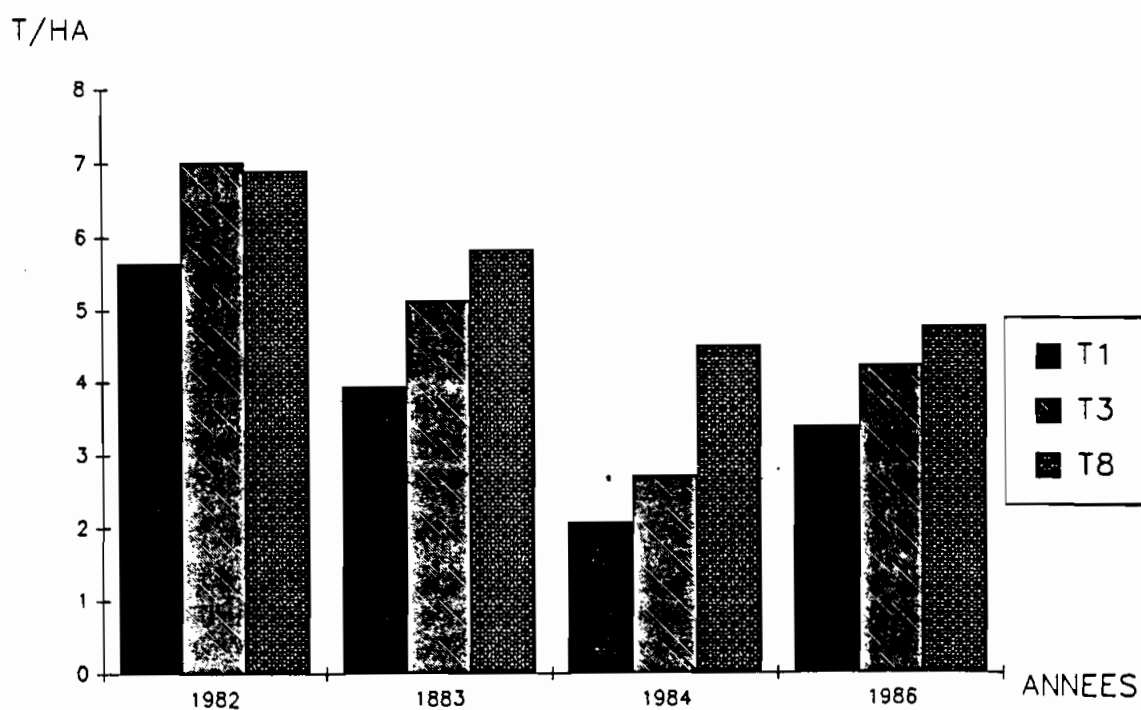


Figure 25-27 : Rendement en paille du sorgho sur le site de Saria Bas en fonction des années d'essai.

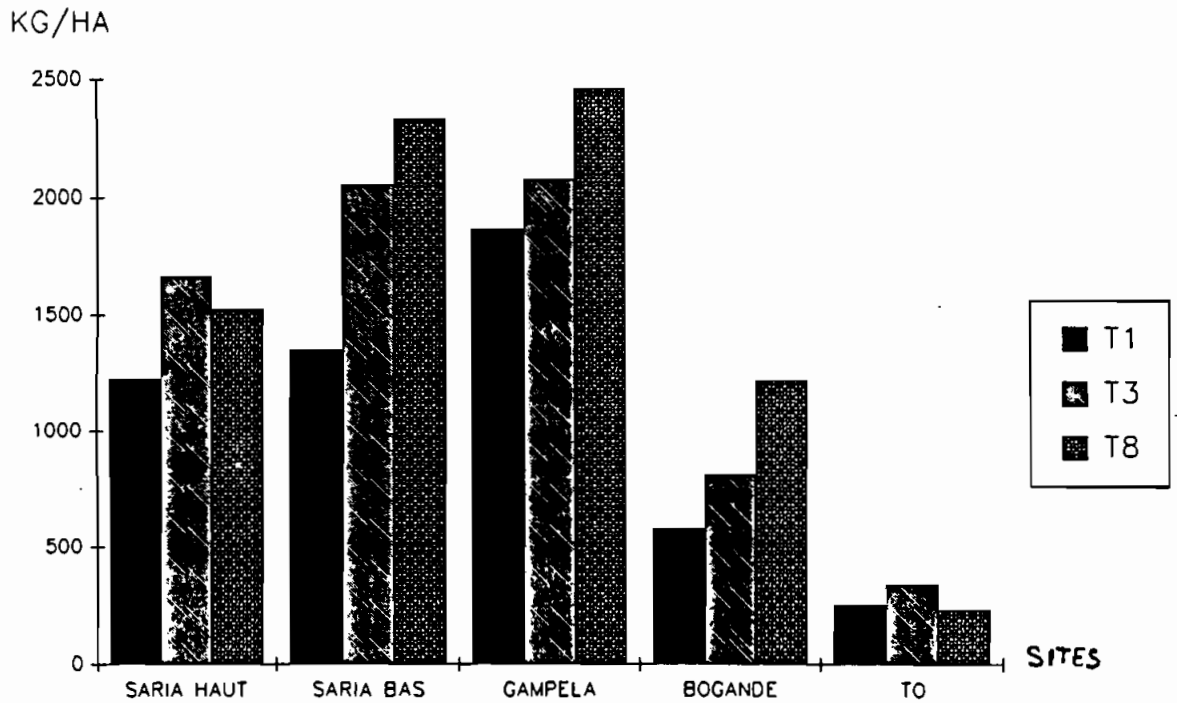


Figure 25-28 : Comparaison des rendements en grain du sorgho pour 5 sites d'essais en 1983.

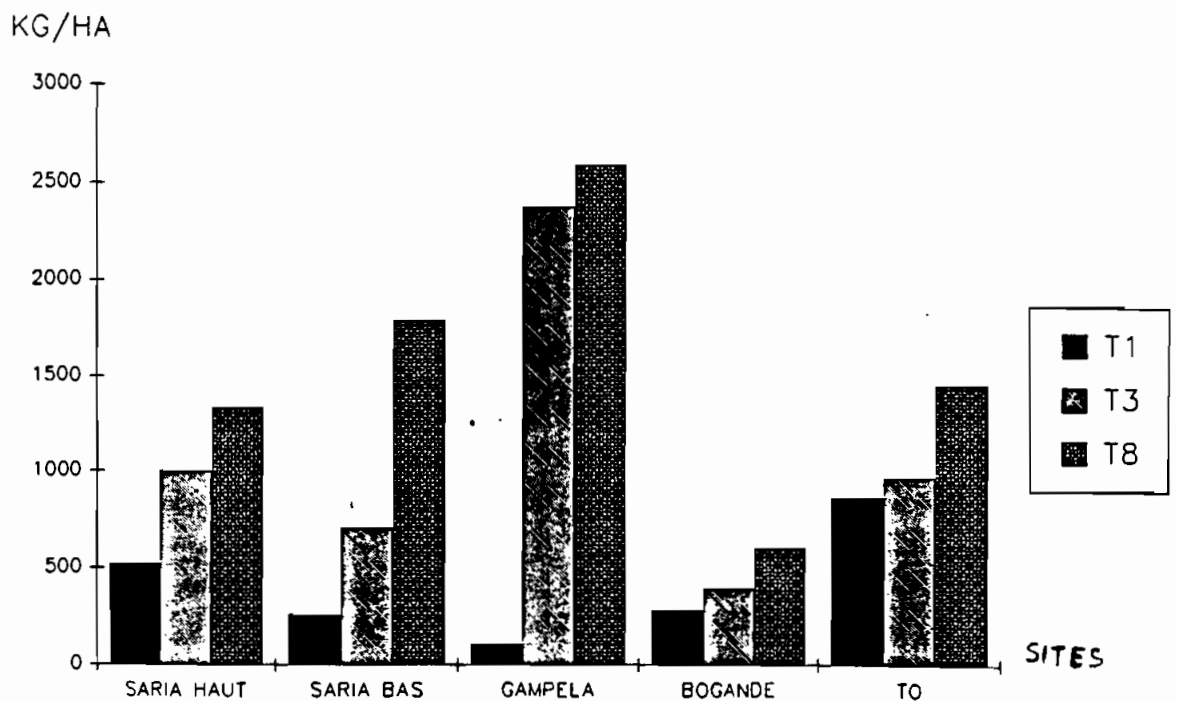


Figure 25-29 : Comparaison des rendements en grain du sorgho pour 5 sites d'essais en 1984.

En 1984, on observe un effet important du buttage + cloisonnement (T8) comparé au labour à plat et au témoin (T1). L'écart est encore plus grand à Saria Bas: ceci marque bien le rôle de la nature du sol et de la localisation de la parcelle sur la toposéquence.

a.5. Effet année.

On présente dans les figures 25-28 et 25-29, les rendements du sorgho dans 5 des sites d'essais en 1983 et 1984. on notera la performance supérieure de T8 par rapport à T3 dans tous les essais en 1984, alors que ce n'était pas le cas en 1983.

a.6. Effet toposéquence.

Les essais mis en place à Saria Bas, à Gampela et à Kassou sont situés en bas de la toposéquence, tandis que ceux de Saria Haut, To et Kolbila correspondent plutôt à la partie haute de la toposéquence (cf. paragraphe 2.2.1. du chapitre IV). Sur la base de ce classement, on a étudié le comportement du témoin (T1), du labour (T3) et du labour suivi du buttage cloisonné (T8) dans les figures 25-30 à 25-32.

Liste des essais étudiés :

- bas de toposéquence, Saria Bas 82, 83, 84 et 86 - Gampela 82, 83, 84 et 86 - Kassou 84 et 86.
- haut de toposéquence, Saria Haut 82, 83, 84 et 86 - To 83, 84, 85 et 86 - Kolbila 84, 85 et 86.

La figure 25-30 montre des différences de comportement des parcelles non travaillées selon leur place dans la toposéquence. Mais les grandes variations observées ne permettent pas de tracer une courbe moyenne comme on peut le faire avec les deux autres traitements. Dans ceux-ci, les courbes moyennes montrent bien que les rendements sont meilleurs quand ils sont effectués en bas de la toposéquence. Les sols plus argileux du bas de la toposéquence accumulent aussi des eaux de ruissellement. Pour un même volume de pluie mesuré au pluviomètre, la pluie efficace sera donc plus importante dans les parcelles du bas que dans celles du haut de la toposéquence.

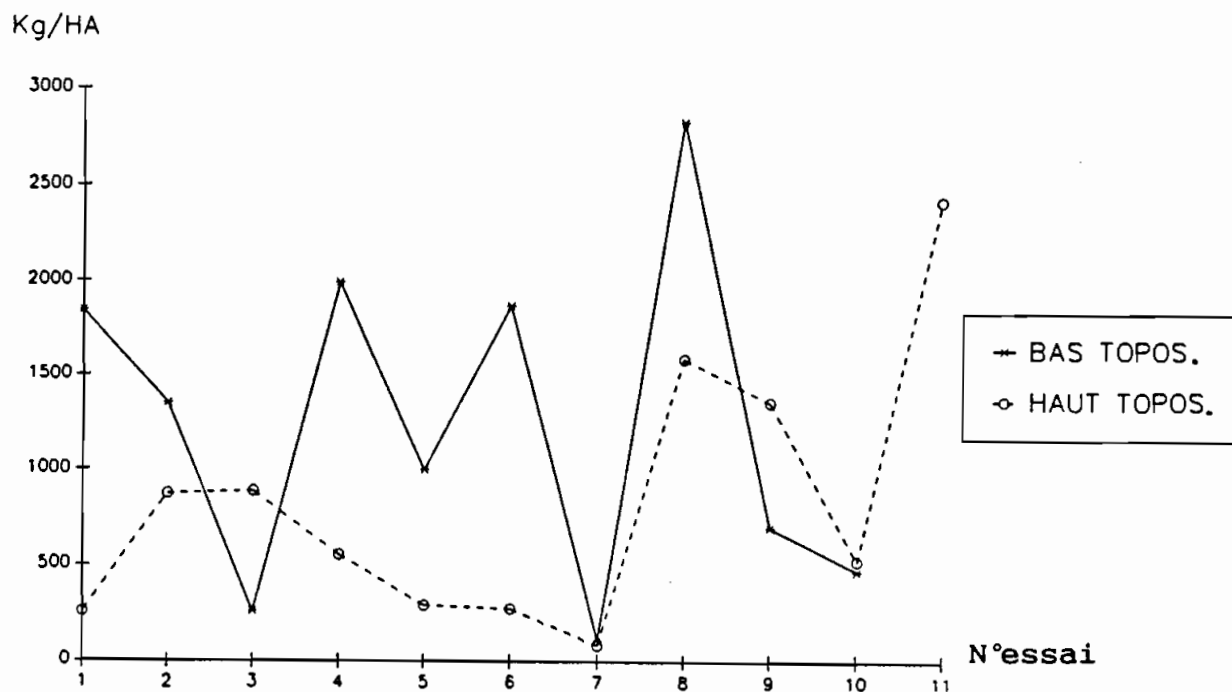


Figure 25-30 : Rendement en sorgho grain du témoin en fonction de la situation de la parcelle sur la toposéquence

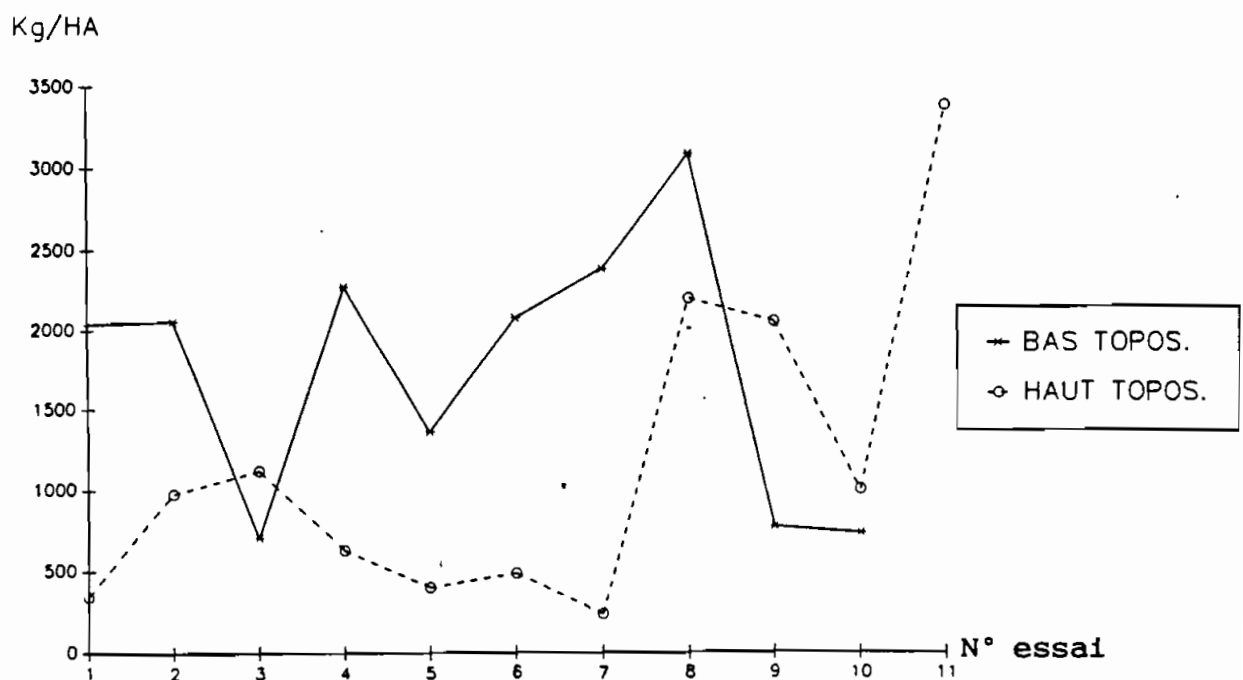


Figure 25-31 : Rendement en sorgho grain du labour en fonction de la situation de la parcelle sur la toposéquence

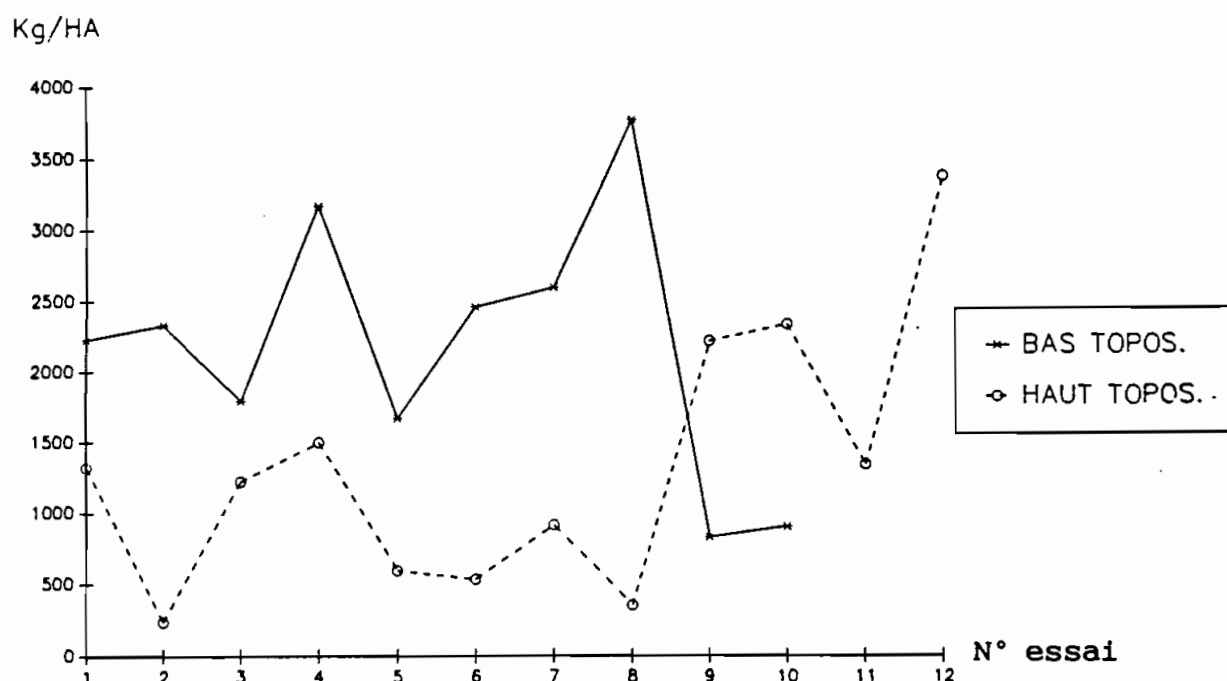


Figure 25-32 : Rendement en sorgho grain du labour + buttage cloisonné en fonction de la situation de la parcelle sur la toposéquence.

a.7. Effet des techniques additionnelles au labour à plat: buttage et cloisonnement.

* Le buttage seul effectué un mois après le labour et le semis (T7) a été étudié dans 6 essais. Le tableau 25-14 permet par comparaison d'isoler son impact sur le rendement en grains du sorgho.

Le buttage (T7) apporte une légère plus-value par rapport au labour (T3). Cette action peut être amplifiée par un cloisonnement des sillons.

N°	TRAITEMENTS	RENDEMENT kg/ha	%
T1	témoin (sol non travaillé)	1071	100
T3	labour à plat	1768	165
T7	labour à plat + buttage 1 mois après	<u>1907</u>	<u>178</u>
T8	labour + buttage 1 m + cloiso. 2 m.	2177	203

Tableau 25-14 : Comparaison de l'effet du buttage sur le rendement moyen du sorgho.

* Buttage + cloisonnement (T8).

Cette technique a été étudiée dans 17 essais. Le tableau 25-15 permet de quantifier l'effet additionnel de cette technique par rapport au labour à plat et au témoin.

N°	TRAITEMENTS	RENDEMENT kg/ha	%
T1	témoin (sol non travaillé)	1188	100
T3	labour à plat	1659	140
T7	labour à plat + buttage + cloiso.	<u>1966</u>	<u>165</u>

Tableau 25-15 : Comparaison de l'effet du buttage + cloisonnement sur le rendement moyen du sorgho.

Le buttage + cloisonnement apporte en moyenne 20% de grain en plus que le labour à plat. Mais cet effet est très variable selon le site, l'année et la place du champ sur la toposéquence.

* La date de réalisation du cloisonnement semble jouer un certain rôle sur l'efficacité de la technique elle-même. Cela est apparu dans l'étude des moyennes des 11 essais où le cloisonnement un mois après le semis (T11) a été comparé au cloisonnement effectué à deux mois (T8) (tableau 25-16).

N°	TRAITEMENTS	RENDEMENT kg/ha	%
T1	témoin (sol non travaillé)	1028	100
T3	labour à plat	1529	149
T11	labour à plat + buttage et cloiso.	<u>1909</u>	<u>186</u>
T8	labour + buttage 1 m + cloiso. 2 m.	1829	178

Tableau 25-16 : Comparaison de l'effet du cloisonnement sur le rendement moyen du sorgho.

L'écart existant entre les effets des deux dates du cloisonnement du billon est plus explicite quand on l'analyse en fonction du site (comme le montre le tableau 25-17).

SITES	T1	T3	T8	T11
Kolbila	100	139	184	212
To	100	119	154	182
Gampela	100	186	217	188
Saria Haut	100	149	160	149
Saria Bas	100	132	220	212
Kassou	100	129	148	140

Tableau 25-17 : Comparaison des pourcentages d'augmentation en rendement grain du sorgho par traitement.

Il semble y avoir un gradient nord-sud qui montre que l'on peut retarder la date du cloisonnement au fur et à mesure que l'on descend vers le sud, où les pluviométries sont moins déficitaires.

* Les résultats des 6 essais permettent de chiffrer l'impact sur le rendement du sorgho d'un buttage + cloisonnement non précédé du labour à plat (T10).

Comme le montre le tableau 25-18, quand le buttage cloisonné n'est pas précédé d'un labour avant le semis, son effet est réduit. Cette technique joue donc un rôle additionnel à celui d'un labour du sol au début de l'hivernage.

N°	TRAITEMENTS	RENDEMENT kg/ha	%
T1	témoin (sol non travaillé)	1252	100
T3	labour à plat	1723	138
T8	labour + buttage cloisonné	1860	149
T10	semis sans labour+buttage cloiso.	<u>1468</u>	<u>117</u>

Tableau 25-18 : Comparaison de l'effet du buttage cloisonné à 1 mois non précédé d'un labour sur le rendement moyen du sorgho.

* Une autre possibilité consiste à semer directement sur des billons cloisonnés. Ceci a été étudié dans 5 essais. Le tableau 25-19 compare les résultats obtenus avec ceux du labour et du labour suivi du billonnage cloisonné.

N°	TRAITEMENTS	RENDEMENT kg/ha	%
T1	témoin (sol non travaillé)	1345	100
T3	labour à plat	1565	116
T11	labour à plat + billons cloisonnés	2074	154
T12	semis sur des billons cloisonnés	<u>2093</u>	<u>156</u>

Tableau 25-19 : Comparaison de l'effet du semis sur des billons cloisonnés sur le rendement moyen du sorgho.

Dans les essais où cette technique a été étudiée, le travail du sol n'a pas été globalement très performant par rapport au témoin. Notons que sur les 5 essais étudiés, 3 ont été effectués en 1986, année à forte pluviométrie où les effets des techniques sont réduits.

On ne peut donc pas actuellement tirer des conclusions sur l'intérêt de cette technique.

b. Composantes du rendement du sorgho.

Les résultats détaillés sont présentés en annexe 8. Les densités à la récolte représentent en moyenne 83% des poquets semés. Le travail du sol favorise la levée, mais diminue aussi la mortalité au cours du cycle végétatif. Le tableau 25-20 présente le nombre moyen de panicules récoltées par touffe et le poids de grains par panicule.

N°	TRAITEMENTS	nbre panicules par touffe	%	poids grains par panicule	%
T1	témoin (sol non travaillé)	2.05	100	21.83	100
T3	labour à plat	2.26	110	27.57	126
T8	labour + buttage cloisonné	2.37	116	32.71	150

Tableau 25-20 : Résultats moyens de deux composantes du rendement du sorgho obtenues sur tous les essais.

Les techniques de travail du sol ont un effet sur le nombre de panicules par touffe. Mais leur impact est plus marqué sur le taux de remplissage des panicules.

Le poids des grains est aussi amélioré. Le labour à plat amène une augmentation moyenne du poids de 1000 grains de 7 à 10% par rapport au témoin.

2.2.6. Arrière-effet des techniques de travail du sol sur le rendement du sorgho.

En 1987, nous avons étudié à Saria Bas et Saria Haut l'effet résiduel des techniques de travail du sol sur le sorgho IRAT 277 déjà utilisé l'année précédente. Avant les semis le 09/06, les parcelles ont seulement été nettoyées à la daba là où il y avait beaucoup d'herbes. Au premier sarclage, effectué le 14 juillet, on a apporté pour seule fertilisation, 50 kg/ha d'urée.

Le tableau 25-21 compare les rendements en grain obtenus avec ceux de l'année 1986.

TRAITEM.	Saria Haut				Saria Bas			
	rdt kg/ha	%	rdt kg/ha	%	rdt kg/ha	%	rdt kg/ha	%
T1	2412	100	472	100	1989	100	379	100
T3	3376	140	429	91	2264	114	311	82
T8	3370	140	775	164	3165	159	1452	383
T9	3387	140	686	145	2525	127	365	96
T10	2392	99	613	130	-	-	-	-
T11	2968	123	908	192	3211	161	975	257
T12	-	-	-	-	3343	168	1109	292
CV	14.3		35		18.7		40	

Tableau 25-21 : Comparaison sur les rendements moyens en grain en 1987 de l'arrière-effet des techniques réalisées en 1986.

Un an après sa réalisation, le labour à plat perd son efficacité et est équivalent au témoin (T1). Seuls les billons cloisonnés qui n'ont pas été démolis malgré la bonne pluviosité de 1986 donnent les meilleurs rendements. Ceux-ci sont du reste très faibles par rapport à ceux de 1986.

2.2.7. Conclusion sur le sorgho.

Les techniques de travail du sol étudiées ici, permettent globalement d'améliorer la production en grain et en paille du sorgho. Leurs effets varient en fonction du site, de l'année et de la variété de sorgho.

En fait, l'accroissement des rendements dû aux techniques paraît être la résultante de l'amélioration de plusieurs paramètres:

- meilleur infiltration et stockage de l'eau dans le sol,
- augmentation de la profondeur de l'enracinement et meilleure colonisation du profil par celui-ci,
- réduction des mauvaises herbes sur la parcelle,
- amélioration de la croissance et du développement des plantes.

Il apparait aussi que sur le sorgho, le buttage doit être de préférence accompagné d'un cloisonnement. La date de ce cloisonnement peut être d'autant plus retardée que la pluviosité augmente.

Ces différentes techniques sont plus performantes quand le champ est situé vers le bas de la toposéquence, là où les sols sont généralement plus argileux, moins gravillonnaires et plus profonds.

Les techniques de travail du sol doivent être réalisées à chaque hivernage, car leur arrière-effet est pratiquement nul dès la deuxième année.

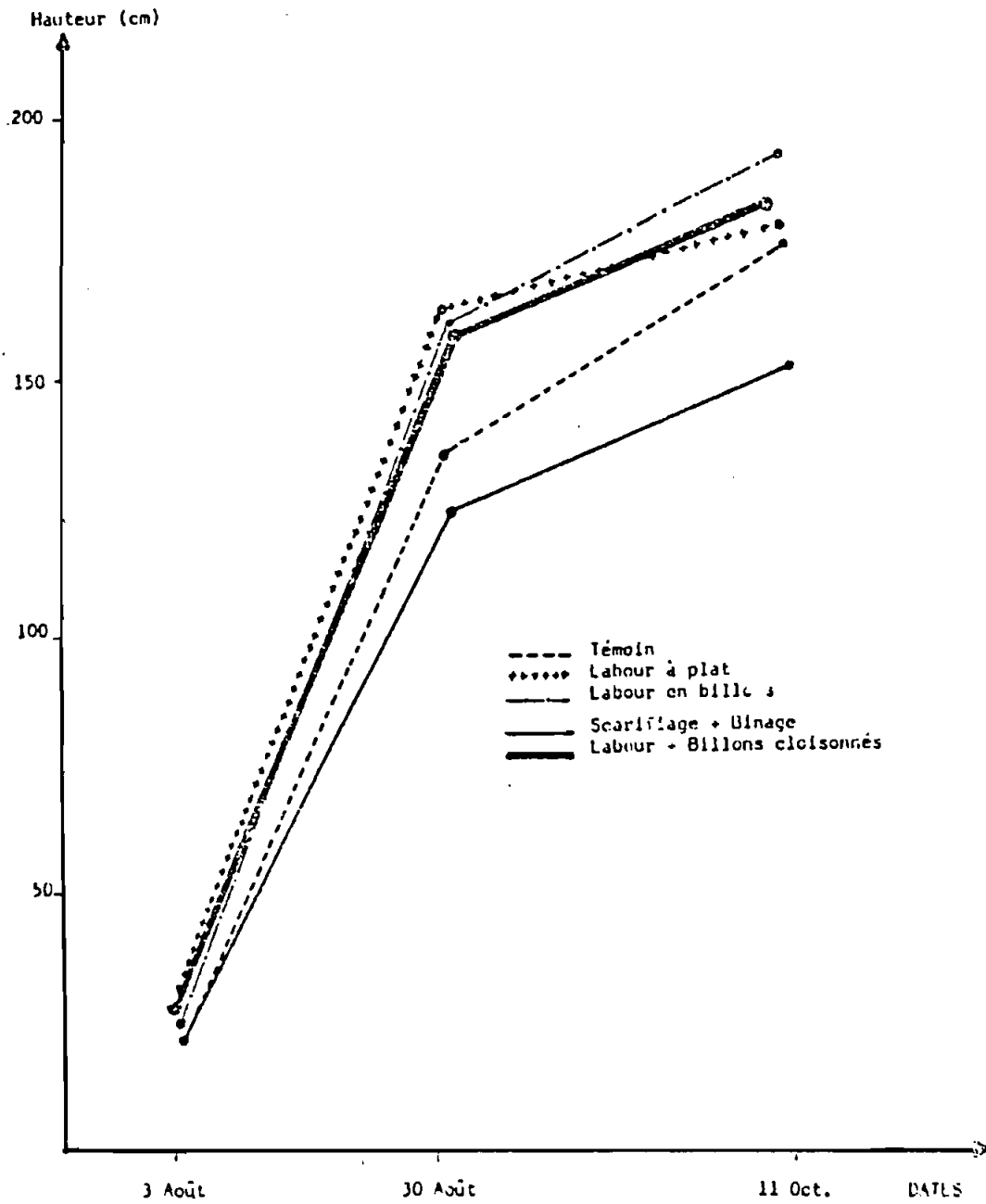


Figure 25-33 : Croissance linéaire du mil à Sabouna (1982).

2.3. Le mil.

2.3.1. Impact des techniques de travail du sol sur la croissance et le développement du mil.

Des observations faites à Sabouna et à Ziga sur des populations locales de mil, il ressort que:

- le travail du sol (T3, T4 et T8) favorise une meilleure croissance du mil (figure 25-33).
- les techniques additionnelles n'ont pas d'effet particulier sur la croissance de cette culture.

En revanche, on a un impact du cloisonnement des billons sur les dates de tallage et d'épiaison-floraison, ainsi que sur le nombre de talles fertiles par poquet (DUGUE, 1989).

Les différents stades phénologiques apparaissent toujours en premier sur les parcelles travaillées avec un écart de temps qui peut dépasser 10 jours, comme on l'a déjà trouvé pour les sorghos.

Des profils hydriques et racinaires ont été réalisés de façon plus sporadique dans les essais en mil. Les résultats déjà publiés par DUGUE (op. cité) corroborent ceux obtenus avec les sorghos.

2.3.2. Rendements et composantes du rendement du mil.

a. Les rendements en grain et en paille.

* Sur l'ensemble des essais en mil, on a un effet moyen du labour à plat (T3) de 34%. Cela est conforme aux résultats du sorgho. Les détails des résultats sont donnés en annexe 9.

Le scarifiage en humide suivi de binages répétés (T9) est équivalent au labour à plat (T3) comme le montre la figure 25-34. Il procure +33% de rendement en moyenne par rapport au témoin.

Les variations des rendements (grain et paille) observées dans le même site entre années corroborent les écarts annuels observés dans les estimations de rendement du Ministère de l'Agriculture (cf. figure 12-9, p. 63).

* Les années de pluviosité moins déficitaire, le rendement du mil atteint 1 tonne sur le témoin (sans travail du sol, mais mieux entretenu que les champs des paysans en général).

Les techniques de travail du sol augmentent dans tous les cas la production de paille du mil, par rapport au témoin. Dans la zone sahelienne plus qu'ailleurs, la paille joue un rôle primordial dans l'alimentation des animaux et dans la fourniture d'énergie domestique.

Le labour à plat augmente de 74% en moyenne la production en paille par rapport au témoin. Le billonnage cloisonné seul (T10) a une production équivalente.

Le billonnage cloisonné précédé du labour (T8) apporte plus de 100% d'augmentation de rendement en paille.

* Effet des indices de récolte.

Dans les exemples présentés dans le tableau 25-22, les techniques de travail du sol améliorent les indices de récolte (rapports poids grain/poids paille) par rapport au témoin.

Mais les différences sont moins sensibles en année de bonne pluviosité, comme ce fut le cas en 1986. On notera la bonne performance du T9 (scarifiage en humide suivi de binages après toute pluie importante). Cette technique qui détruit la pellicule de battance du sol après les pluies importantes, améliore l'infiltration des pluies suivantes.

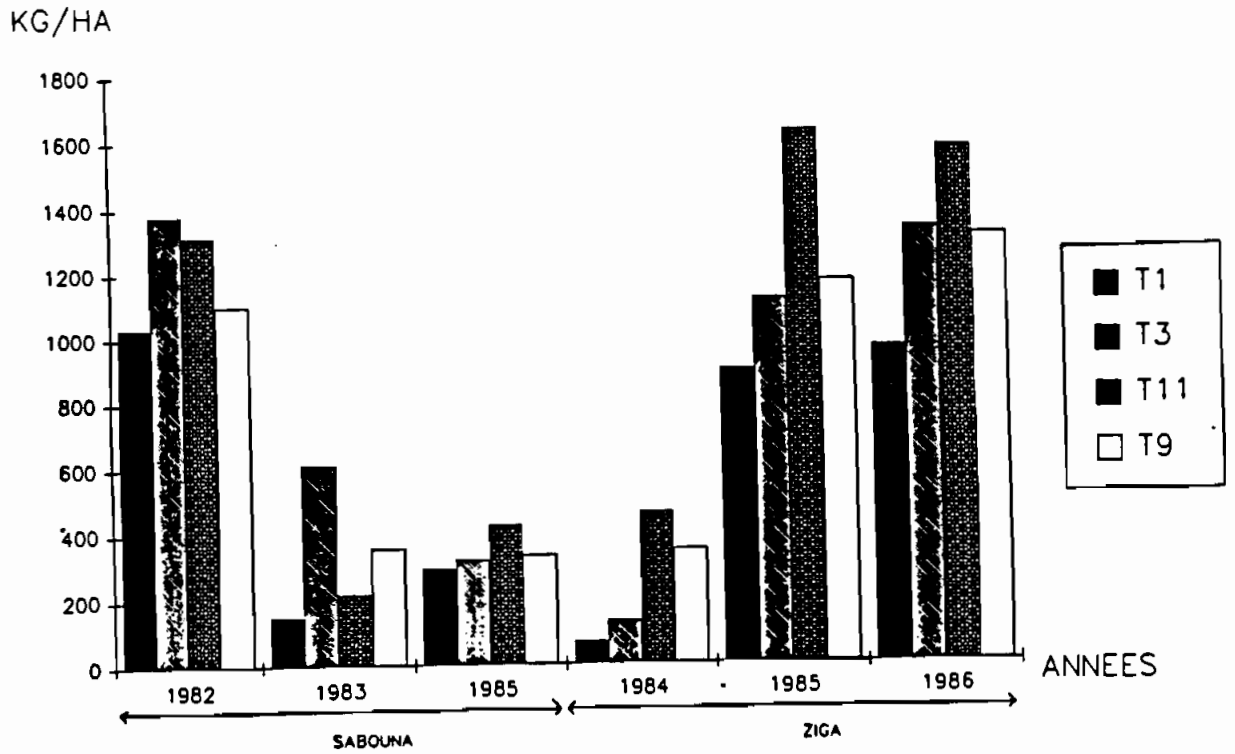


Figure 25-34 : Rendements en grain du mil sur les sites d'essai pour 4 traitements étudiés.

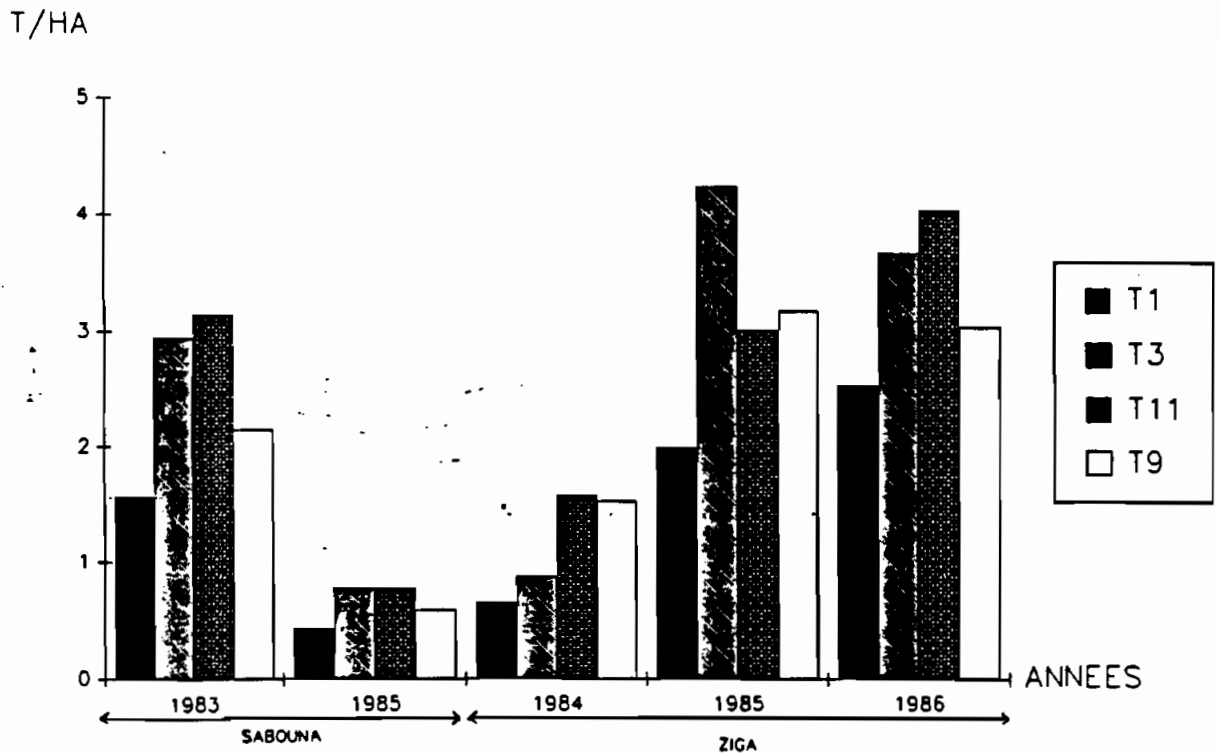


Figure 25-35 : Rendements en paille du mil local sur les sites d'essai pour 4 traitements étudiés.

SITE	ANNEE	T1	T3	T9	T11
Sabouna	83	0.09	0.20	0.21	0.23*
Ziga	84	0.10	0.15	0.22	0.21
Ziga	86	0.38	0.36	0.43	0.37

* : en 1983, c'est le T8 qui a été étudié à Sabouna.

Tableau 25-22 : Comparaison des indices de récolte du mil pour 3 des essais étudiés.

b. Composantes du rendement du mil.

Il n'y a aucune influence des traitements sur le nombre de tiges récoltées par touffe, comme le montre le tableau 25-23.

	T1	T3	T9	T11
Nombre de touffes récoltées par ha	15334	15161	15422	15446
Nombre d'épis par touffe	2.90	3.58	3.38	3.76
Poids de grain par épi (g)	15.04	15.56	18.18	19.77

Tableau 25-23 : Valeurs moyennes des composantes du rendement du mil.

Le travail du sol favorise le tallage et augmente donc le nombre d'épis récoltés par touffe. Le scarifiage en humide (T9) donne des résultats équivalents au labour.

Le billonnage cloisonné agit surtout à partir de la phase critique, ce qui se traduit par un meilleur remplissage des "chandelles" (le poids de grain par épi est plus grand).

2.3.3. Conclusion sur le mil.

Le travail du sol (labour, scarifiage du sol en humide) favorise l'installation de la culture, le tallage, le nombre d'épis récoltés et de ce fait augmente le rendement.

Les effets sont en fait très variables selon la pluviosité de l'année. Quand celle-ci est très déficitaire comme en 1984, on ne note aucune amélioration de la production : le rendement reste pratiquement nul ou très faible. Par contre, quand la pluviométrie est moins défavorable, les effets des techniques de travail du sol sur le mil sont notables et confirment les résultats des deux autres céréales.

Dans la zone sahélienne, le scarifiage en humide suivi de binages après chaque pluie importante peut être une alternative au travail profond du sol (labour à plat) qui nécessite une humidité du sol que la pluviosité de la zone ne garantit pas toujours chaque année au moment de la préparation des semis.

2.4. Influence des techniques de travail du sol sur le contrôle du ruissellement et de l'érosion à la parcelle.

En 1987, le dispositif d'étude du ruissellement a été semé en arachide. Les résultats de cette année là ne seront pas analysés ici. Le sorgho a été utilisé les autres années entre 1982 et 1988. L'analyse des résultats concerne les 3 traitements communs à toutes les années: - témoin (T1) sol non travaillé,
 - labour à plat (T3),
 - labour à plat + buttage à 1 mois + cloisonnement des billons à 2 mois (T8).

Pour analyser l'impact des traitements sur l'évolution du ruissellement et de l'érosion, chaque hivernage a été découpé en trois parties:

- période avant la préparation du sol (arrière-effet du traitement),
- de la préparation du sol à l'installation de la culture de sorgho (environ 35 jours après les semis J.A.S.),
- de 35 J.A.S. à la fin des pluies.

2.4.1. Evolution du ruissellement.

Pour permettre d'effectuer des comparaisons interannuelles entre les coefficients de ruissellement, nous avons calculé dans le tableau 25-24, les intensités moyennes des pluies supérieures à 10 mm enregistrées sur la station. Ces moyennes des intensités ont une signification relative puisque l'impact sur le ruissellement dépend de l'intensité maximale de chaque pluie unitaire (ROOSE 1979, 1981; MIETTON, 1988). Or, celle-ci peut atteindre 108 mm/heure comme ce fut le cas au cours de l'épisode pluvieux du 6 au 7 juin 1984.

En 1988, le pluviographe est tombé en panne à la fin du mois de mai.

MOIS	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	MOYENNE
ANNEES						ANNEE
1982	48.8	39.5	47.3	41.8	54.4	46.4
1983	46.3	53.7	48.9	32.3	52.0	46.6
1984	28.3	59.0	32.0	32.6	43.5	39.0
1985	-	30.0	31.1	34.0	33.2	32.1
1986	40.1	81.1	53.0	45.2	58.7	55.6
1987	-	36.0	40.4	0 mesure	18.6	-
MOYENNE	40.0	49.9	42.1	37.2	43.4	
MOIS						
ECARTTYPE	7.9	17.2	8.3	5.3	13.8	

Tableau 25-24 : Moyennes mensuelles des intensités en 30 mn (I30) des pluies supérieures à 10 mm à Saria (exprimées en mm/heure).

La figure 25-36 donne l'évolution des coefficients moyens du ruissellement en comparaison avec celle des intensités moyennes mensuelles.

On constate, au cours des années de l'étude, une certaine tendance à la baisse des coefficients de ruissellement, notamment pour T3 et T8.

Les billons cloisonnés sont, sans conteste, les plus efficaces pour lutter contre le phénomène.

Les figures 25-37 à 25-39 présentent les niveaux atteints par les coefficients de ruissellement respectivement au cours des 3 périodes des saisons des pluies entre 1982 et 1988.

Durant la première période, la parcelle du labour à plat (T3) présente souvent de très forts coefficients de ruissellement qui peuvent dépasser 70%, confirmant ainsi l'absence d'arrière-effet de cette technique (figure 25-37).

Au cours de la seconde partie, T3 est équivalent à T8, n'ayant pas encore été butté et cloisonné. Le labour est alors la technique la plus efficace.

A la dernière période et en dépit du couvert végétal à son développement maximum, on a encore des coefficients de ruissellement élevés qui peuvent atteindre 40% (figure 25-39).

Le labour a déjà perdu son efficacité pour l'infiltration. Cela confirme les études de ROOSE (1981) dans ce même dispositif.

Par contre, le traitement T8 a un ruissellement pratiquement nul. Cette technique est indubitablement un moyen efficace de conservation de l'eau et du sol.

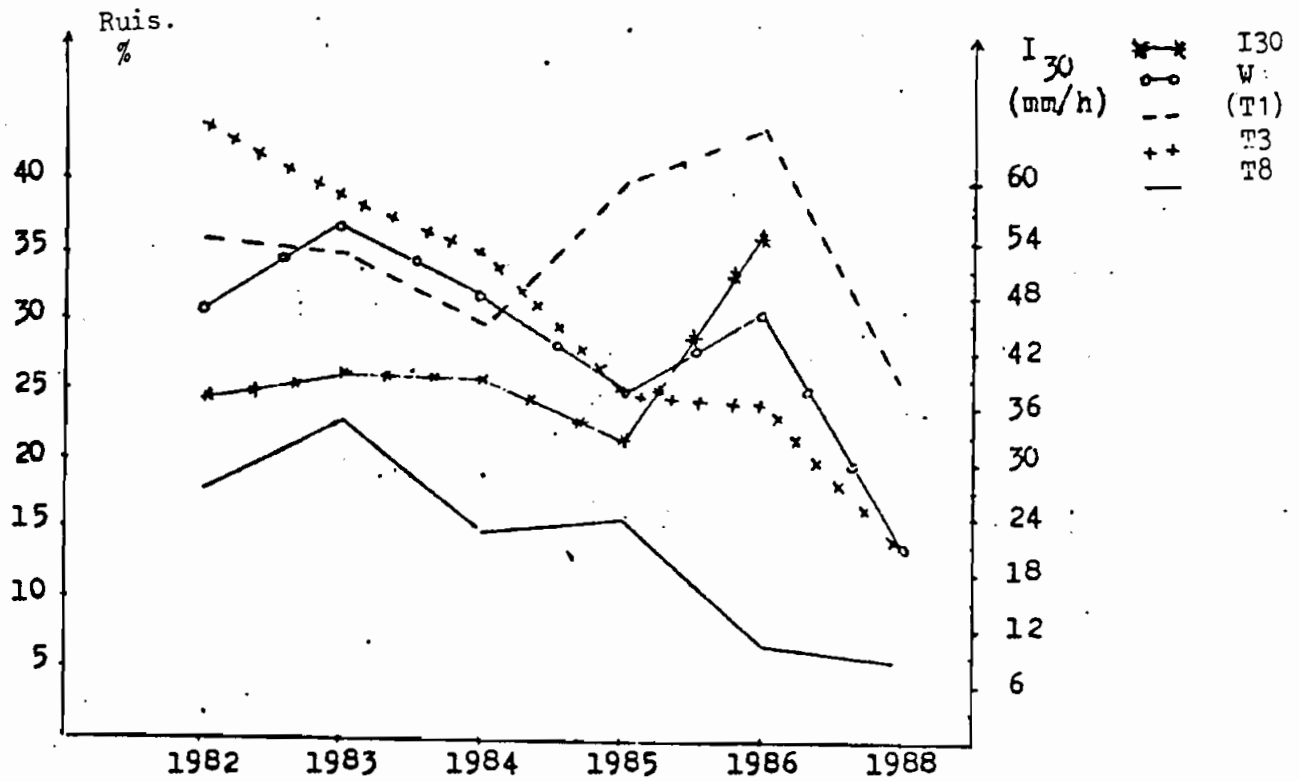


Figure 25-36 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels et des I30 moyens annuels.

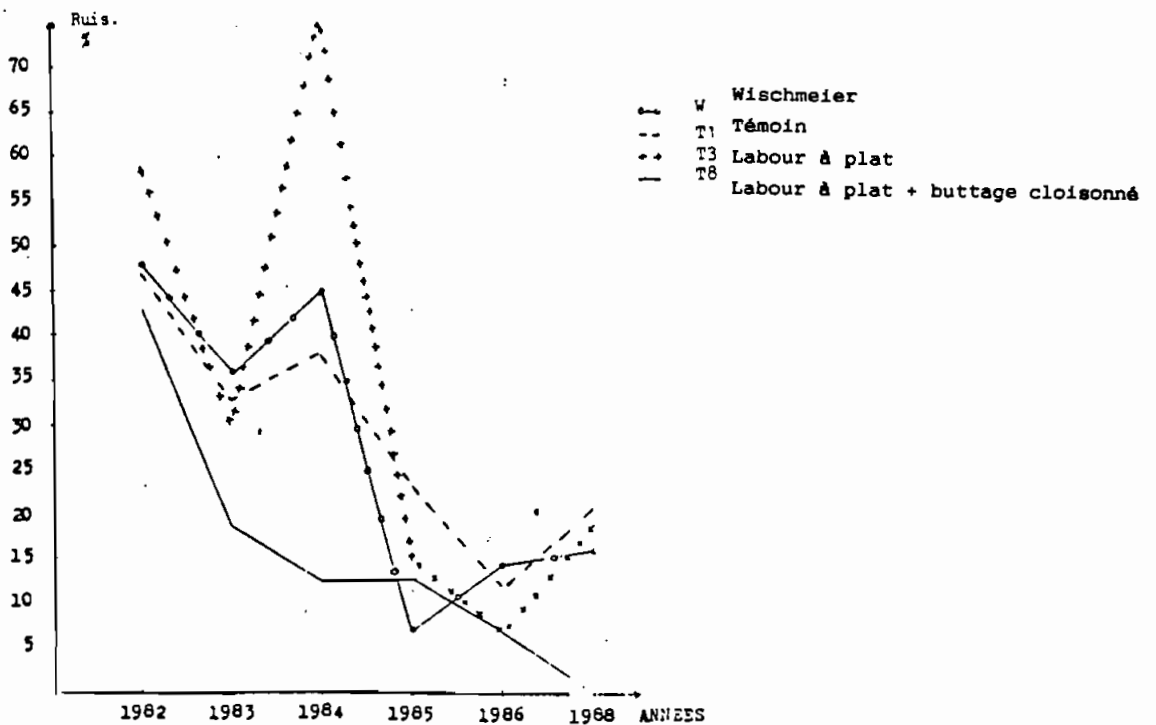


Figure 25-37 : Evolution des coefficients de ruissellement dans la première période de l'hivernage.

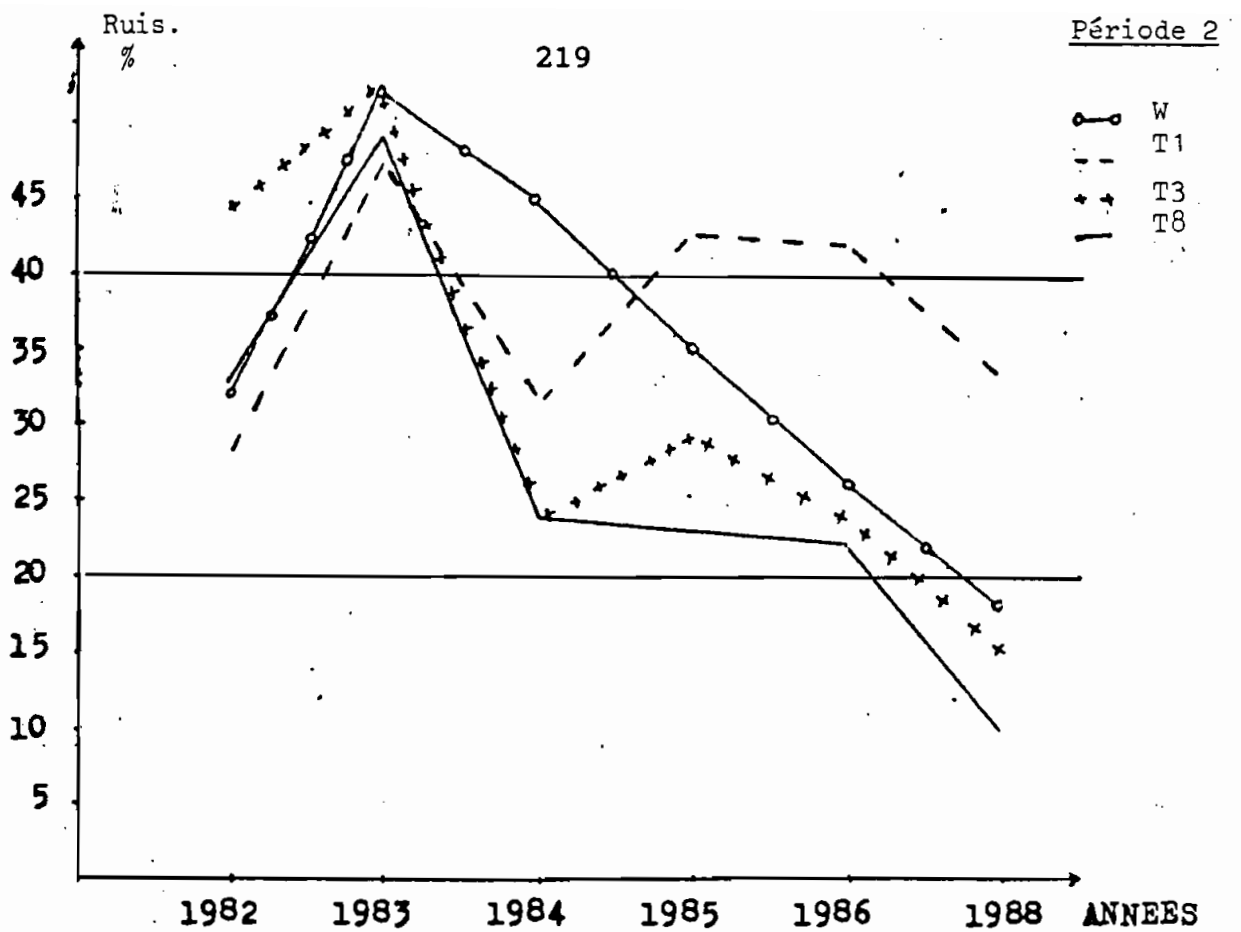


Figure 25-38 : Evolution des coefficients du ruissellement dans la seconde période de l'hivernage.

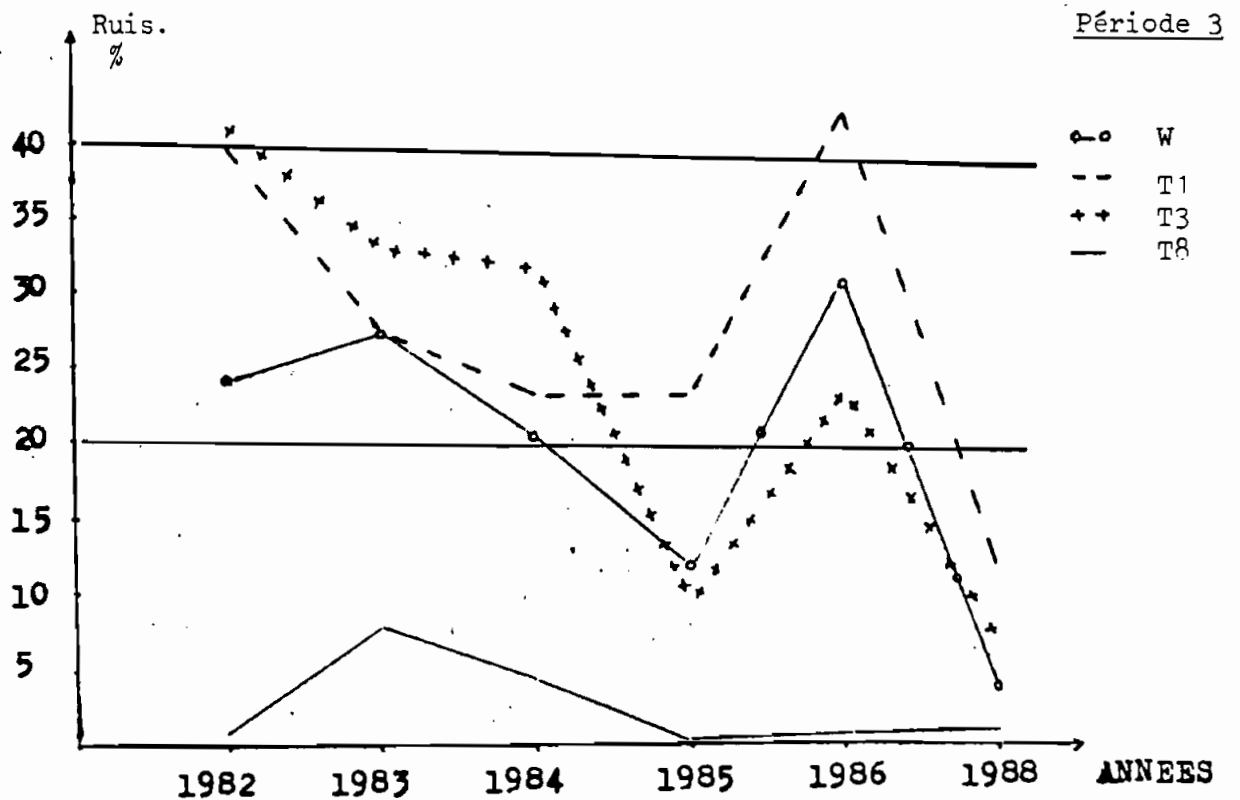


Figure 25-39 : Evolution des coefficients du ruissellement dans la troisième période de l'hivernage.

2.4.2. L'érosion.

L'évolution des quantités de terre érodée est généralement corrélée à celle du ruissellement qui en est le facteur inductif. Le tableau 25-25 donne les quantités moyennes de terre en T/ha qui sont érodées chaque année.

Année	W	T ₁	T ₃	T ₈
1983	24,2	18,4	20,3	15,0
1984	9,3	7,3	6,3	3,5
1985	11,8	15,6	7,0	4,2
1986	23,5	19,6	20,8	11,1
1988	18,5	13,1	13,9	3,0
Moyenne	17,5	14,8	13,6	7,4

Tableau 25-25 : Quantités totales de terre (solide + terre fine) érodées (T/ha).

Généralement, les éléments fins du sol constituent l'essentiel des pertes de terre (80 à 90 %). Cela traduit la gravité du phénomène sur la perte de fertilité des sols (cf. tableau 24-3).

2.4.3. Impact du ruissellement et de l'érosion sur les rendements du sorgho.

Les variations interannuelles des rendements du sorgho dans les parcelles d'érosion corroborent celles des autres sites d'essai.

La figure 25-40 présente les rendements en sorgho grain des traitements communs à chaque année. Cette figure permet de faire les remarques suivantes:

- les écarts de rendement entre T1 et T3 semblent évoluer dans le même sens que les écarts des coefficients de ruissellement annuels de ces 2 traitements (figure 25-36).

- les écarts de rendement entre T3 et T8 par contre reflètent ceux du ruissellement des mêmes parcelles durant la troisième période de l'hivernage (figure 25-39).

Le travail du sol n'a d'effet globalement positif que s'il permet aussi de réduire le ruissellement et l'érosion.

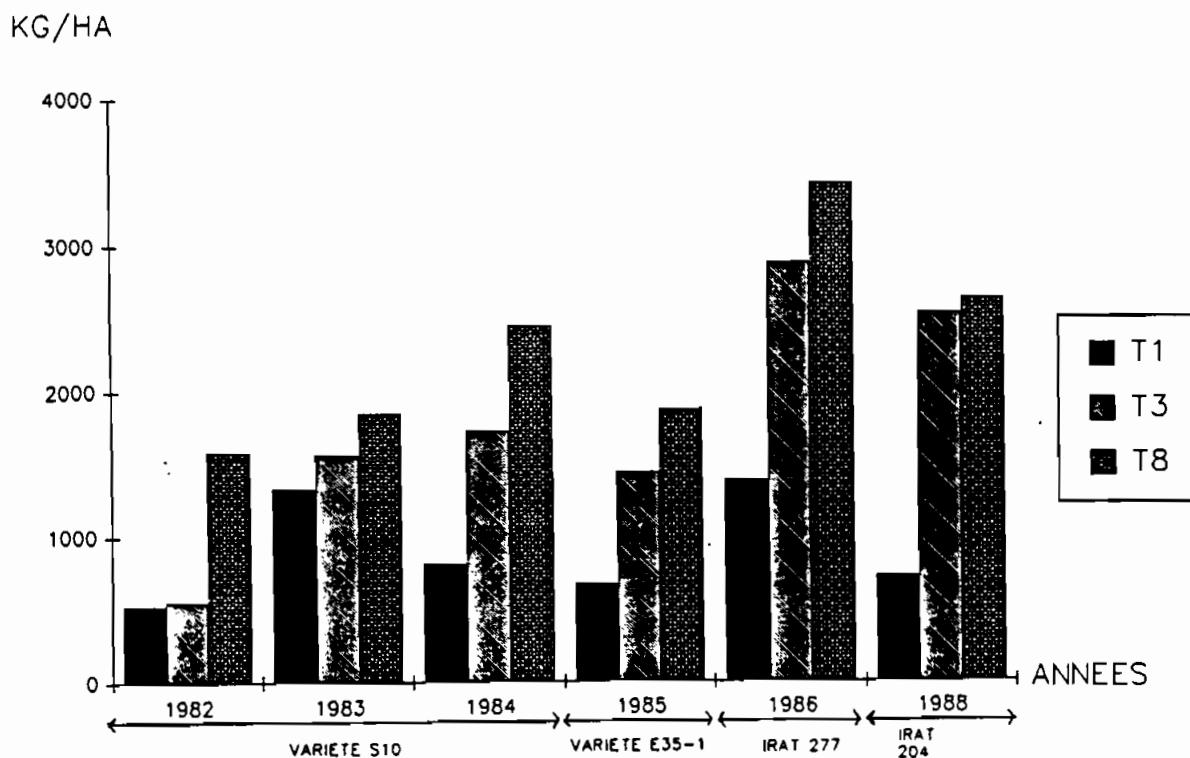


Figure 25-40 : Rendements en grain du sorgho sur les parcelles d'érosion (nb : en 1987, culture d'arachide).

2.5. Conclusion.

Les techniques de travail du sol que nous avons étudiées augmentent les possibilités de stockage de l'eau de pluie grâce notamment à une amélioration de l'infiltration corrélative à une diminution du ruissellement en surface.

Leur efficacité sur les rendements des céréales dépend:

- de la pluviosité de l'année, et de sa répartition spatio-temporelle,
- du sol,
- de la place du champ sur la toposéquence.

Le labour à plat apparaît être la technique de base. Il est même indispensable dans le cas du maïs.

Le scarifiage en sec, en traction animale employant les types de dents disponibles actuellement paraît ne pas présenter d'intérêt. Par contre, quand cette technique est utilisée en humide, en réalisant ensuite des binages après chaque pluie importante, elle permet d'avoir des résultats équivalents au labour à plat, notamment dans la zone sahelienne.

Pour le sorgho et le mil, le buttage n'est intéressant que s'il est accompagné de cloisonnement. Mais il est plus avantageux de le faire, précédé d'un labour.

La date du cloisonnement peut être d'autant plus retardée que l'on va du nord vers le sud du pays, sans dépasser le moment de l'épiaison-floraison.

Les techniques de travail du sol permettent-elles d'améliorer l'efficacité de l'eau ?

La troisième partie du mémoire tentera de donner une réponse à cette préoccupation, et aussi d'expliquer les différences de rendement mises en évidence en étudiant le bilan hydrique des cultures.

CHAPITRE VI :**DEUX AUTRES TECHNIQUES D'AMELIORATION DU BILAN HYDRIQUE DES CULTURES :**

- L'IRRIGATION DE COMPLEMENT
- LE TRAVAIL DU SOL EN SEC.

1. MATERIELS ET METHODES.**1.1. Dispositifs d'étude.****1.1.1. Essais avec irrigation de complément.**

Les pluies des "lignes de grains" qui tombent au début de l'hivernage ruissellent dans les marigots et les bas-fonds, où de l'eau peut ainsi être stockée puis utilisée en irrigation de complément sur les cultures.

Le but de l'étude est d'étudier la rentabilité agronomique d'une telle pratique sur le sorgho, en la comparant aux meilleures techniques de travail du sol présentées au chapitre précédent.

L'étude a été conduite à Saria (Plateau) et à Sabouna (Yatenga).

a. Les traitements.

Les 6 traitements suivants sont étudiés sur chacun des sites:

- T1 : témoin (sol gratté superficiellement à la houe traditionnelle),
- T1A : témoin + irrigation de complément,
- T3 : labour à plat à la traction bovine,
- T3A : labour à plat + irrigation de complément,
- T11 : labour à plat suivi de buttage et de cloisonnement 1 mois après semis,
- T12 : semis sur les billons cloisonnés.

b. Essai de Saria.

Chaque parcelle élémentaire a une superficie de 22 m * 9,6 m, soit 211,2 m². On utilise le sorgho E35-1 (tableau 24-2). A Saria, l'essai est placé en parcelle 15, à proximité du bas-fond.

Le dispositif comprend 4 blocs au hasard séparés par des bandes de culture de remplissage de 10 m de large. Ces bandes cultivées en sorgho elles aussi, permettent de réduire les "effets d'oasis" au niveau des parcelles d'étude. Elles séparent aussi les parcelles non irriguées des autres, car l'irrigation se fait par aspersion à partir d'un puits.

Un pluviomètre à lecture direct est placé dans chaque parcelle au moment de l'irrigation.

c. Essai de Sabouna.

A Sabouna, l'essai a été placé dans un petit périmètre irrigué de 0,3 ha prévu pour divers tests agronomiques à l'intention des agriculteurs, dans le cadre d'un Projet de Recherche-Développement.

L'eau est stockée dans une micro-retendue d'une capacité estimée à 100 m³ maximum, construite manuellement par les paysans en aval d'un dôme cuirassé impropre à toute culture, et qui joue réellement le rôle d'un impluvium à écoulement quasi total.

Comme il y a moins de terrain et d'eau disponible qu'à Saria, nous avons réduit la taille des parcelles à 6,4 m * 16,4 m, soit 104,96 m², et supprimé le traitement T11. Il y a donc 5 traitements en 6 répétitions. Les blocs et les parcelles sont séparés par une allée de 1 mètre.

Le sorgho IRAT 204 a été utilisé (cf. tableau 24-2). La quantité d'eau d'irrigation est estimée à partir du débit de la pompe manuelle servant de moyen d'exhaure de l'eau.

L'irrigation se fait à la raie par un canal d'amenée construit au milieu du périmètre.

1.1.2. Essai de travail du sol en sec.

Le travail du sol en sec en culture attelée s'est avéré inefficace avec le type de matériel actuellement disponible (cf. paragraphe 2.2.5. du chapitre V).

Nous avons donc étudié l'opportunité de réaliser cette technique en culture motorisée. Il convient de préciser en effet dès maintenant, que le travail du sol en sec avec un tracteur est actuellement hors de portée du paysan burkinabé moyen. Mais nous pensons que sa vulgarisation peut être envisageable dans le cadre des structures de regroupement des agriculteurs (coopérative agricole, groupement villageois, etc...), avec l'appui des organismes de vulgarisation qui disposent généralement du matériel approprié.

C'est pourquoi nous avons mis en place cette expérimentation à Saria en parcelle 3, située au même niveau sur la toposéquence que la parcelle 7 .

a. Les traitements.

Neuf parcelles de culture de 100 m * 16 m, soit 1600 m² chacune ont été disposées perpendiculairement à la pente dans le sens est-ouest, selon la méthode dite "bandes de HAMY". Chaque bande correspond à un traitement. Elles sont disposées d'amont en aval dans l'ordre suivant :

- bande 1 (T1) : le sol est travaillé en humide avec un cultivateur (type canadien).

- bande 2 (T0) : grattage superficiel du sol à la houe traditionnelle. Elle sert de témoin.

- bande 3 (T2) : labour à plat à la traction bovine.

- bande 4 (T3) : sous-solage profond au tracteur, suivi d'un labour à plat avec les boeufs.

- bande 5 (T0) : deuxième témoin.

- bande 6 (T4) : sous-solage seul , suivi d'un passage au cultivateur avant les semis.

- bande 7 (T5) : scarifiage du sol au chisel, suivi d'un labour à plat avec les boeufs.

- bande 8 (T0) : troisième témoin.

- bande 9 (T6) : scarifiage du sol au chisel, suivi d'un passage au cultivateur avant les semis.

b. Conditions de réalisation des traitements.

Le sous-solage a été effectué à 0,80 m d'écartement entre les lignes, et à une profondeur moyenne de 0,30 à 0,35 m. Au passage des dents, le sol est ébranlé de chaque côté sur une largeur de 0,30 m environ.

Le scarifiage du sol avec le chisel ou "chiselage" quant à lui, réalisé avec 3 dents, est fait à 0,50 m d'écartement. La profondeur moyenne est de 0,20 à 0,25 m, et le sol est ébranlé sur une largeur moyenne de 0,15 m.

Le cultivateur travaille superficiellement le sol (5 à 8 cm environ) tandis que le labour à plat avec la charrue 10 pouces et les boeufs atteint en moyenne 12 à 15 cm de profondeur.

1.2. Méthode d'étude.

1.2.1. Observations phénologiques sur la culture.

Les observations phénologiques faites sur la culture au niveau des deux essais sont identiques à celles décrites au paragraphe 4.3. du chapitre IV. Il faut cependant préciser que l'essai travail du sol en sec regroupait plusieurs thèmes de recherche suivis par plusieurs personnes. Ils portent entre autres sur la consommation et la force de traction du tracteur, l'énergie déployée par les animaux de trait, l'état de la surface du sol et son évolution, etc.... Nous avons été plus particulièrement chargés d'effectuer et d'analyser le suivi du bilan hydrique sous la culture. Nous nous limiterons donc à cet aspect.

1.2.2. Dynamique de l'eau dans le sol.

Le suivi hydrique des parcelles a été fait par la méthode des mesures neutroniques et tensiométriques (COUCHAT, 1974, 1983; VACHAUD, 1968).

a. Mesures neutroniques.

Les tubes d'accès pour la sonde neutronique ont été placés à 1,90 m de profondeur en parcelle 3 et à 2 m en P15, à l'aide d'une tarière à moteur. Les comptages sont faits tous les 10 cm depuis le fond du tube jusqu'à la surface du sol, avec un humidimètre SOLO 25.

Pour garantir une certaine représentativité des mesures hydriques sur chaque parcelle, nous avons placé 3 tubes par bande en P3 et 2 tubes par parcelle dans l'essai avec irrigation d'appoint. Mais le nombre de tubes disponibles n'était pas suffisant pour équiper tous les traitements en P15. Nous n'avons pu équiper que les traitements T1, T1A, T3 et T3A des blocs II et III. Une batterie de 5 tensiomètres DT 5000 est placée au niveau de l'un des tubes de chaque parcelle (celui du milieu en ce qui concerne P3) aux profondeurs suivantes :

- 0,30 ; 0,45 ; 0,75 ; 1,10 ; 1,50 m dans le sol plus profond de la parcelle 15,

- 0,30 ; 0,50 ; 0,70 ; 0,90 ; 1,20 m au niveau de l'essai travail du sol en sec, où la cuirasse est située en moyenne à 0,70 m de profondeur.

Les comptages neutroniques ont été faits tous les 5 jours environ.

b. Etalonnage de la sonde.

L'humidimètre à neutrons a été étalonné selon la méthode du laboratoire développée par le Centre d'Energie Atomique de Cadarache (France), à partir d'échantillons de sol prélevés à proximité de l'essai du travail du sol en sec de P3.

Dans ces mêmes fosses, on a mesuré au densitomètre à membrane les masses volumiques apparentes du sol des différents horizons.

La méthode du laboratoire consiste à effectuer une mesure directe des paramètres neutroniques des sols, notamment les caractéristiques d'absorption Σ_a et de diffusion Σ_d des neutrons thermiques vis-à-vis des sols qui conditionnent la réponse de l'humidimètre à neutrons. Une fois ces paramètres mesurés, un calcul permet de déterminer les coefficients d'une courbe d'étalonnage de la forme :

$$\theta = A * N + B \quad \text{avec}$$

θ : humidité volumique du sol (cm^3/cm^3)

N : comptage neutronique (en fait, l'équation est donnée pour le rapport N/N_0 , où N_0 est le comptage dans l'eau effectué avant chaque mesure).

En ce qui concerne l'essai avec irrigation de complément de la parcelle P15, nous avons appliqué la méthode gravimétrique "in situ". Pour ce faire, on a couplé des comptages neutroniques à des profils d'humidité réalisés à la tarière dans un rayon de moins de 1 mètre autour de chaque tube. Les humidités volumiques sont obtenues grâce aux valeurs des masses volumiques du sol déterminées au densitomètre à membrane dans une fosse située au milieu de la parcelle.

En portant sur un même graphique les valeurs des humidités et celles des comptages neutroniques, on obtient par régression linéaire, le même type de courbe que précédemment (LUC, 1978 ; MOUTONNET et al., 1983 ; SOME, 1985 ; VAKSMAN, 1987).

Des exemples des courbes de régression obtenues sont donnés en annexe 10.

c. Mesures tensiométriques.

Les tensiomètres permettent, par des relevés quotidiens, de suivre le sens du transfert de l'eau dans le sens vertical du sol, ainsi que son potentiel matriciel qui traduit l'énergie avec laquelle cette eau est retenue par les particules du sol. Plus cette énergie de liaison est forte, moins l'eau sera disponible pour les cultures (RUELLE et al., 1983 ; HILLEL, 1984).

1.2.3. Détermination des fréquences d'irrigation.

Le suivi hydrique pentadaire devrait permettre, dans le cas de l'essai de la parcelle 15, de déterminer les dates et les quantités d'eau d'irrigation qui assurent au sorgho un bon niveau d'alimentation en eau de façon continue. Mais en réalité, les apports d'eau ont été fonction des possibilités matérielles sur le terrain.

A Sabouna, les fréquences des irrigations de complément dépendent de la disponibilité en eau et de la durée du "trou pluviométrique", prévu théoriquement de 6 jours.

1.2.4. Principe de la méthode d'étude en bandes HAMY. (DUCREUX et al., 1989).

Cette méthode s'applique à des cultures en lignes. L'interprétation statistique des mesures réalisées sur les plantes est basée sur le principe suivant: les mesures obtenues sur des bandes longues et étroites portées sur un graphique avec en abscisses les positions des lignes de semis sur le terrain, et en ordonnées les données mesurées, doivent présenter une ligne continue si les bandes sont suffisamment longues.

Toute discontinuité sur le graphique, à la limite de deux bandes qui ont reçu des traitements différents, indique une variation induite de ceux-ci.

Toutes les mesures, y compris la récolte, sont alors effectuées par ligne.

La répétition d'un traitement de référence (ici le témoin T0) permet une meilleure précision de l'interprétation graphique.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

2.1. Essais avec irrigation de complément.

2.1.1. Essai de Saria.

a. Opportunité de l'irrigation d'appoint.

Les irrigations d'appoint n'ont été apportées qu'en 1987 sur cet essai : les bonnes pluviosités des années 1986 et 1988 l'expliquent, comme le montre le tableau 26-1.

ANNEE	Date semis	Pluvio. du semis à récolte	nombre de jours de pluie	nombre de jours de pluie ≥ 6 jours	nombre de jours de pluie ≥ 20 mm	irrigation de complément.
1986	17/06	628	40	3	17	non
1987	26/06	459	35	5	8	oui
1988	16/06	684	47	1	13	non

Tableau 26-1 : Pluviosité et opportunité d'irrigation de complément à Saria.

Est-ce un retour à des années à pluviométrie "normale" qui s'amorce ? Cela signifierait alors que l'irrigation de complément ne serait peut-être pas utile chaque année sur les cultures de sorgho dans la zone soudanienne. Il s'agira bien dans ce cas d'irrigation complémentaire en fonction d'événements aléatoires.

L'irrigation de complément a été apportée aux dates et avec les doses moyennes suivantes :

01/07	07/07	23/07	08/09	total
8 mm	8 mm	14 mm	23 mm	53 mm

C'est en début de cycle et pendant la "période critique que les besoins d'irrigation d'appoint sont les plus cruciaux. Les doses d'irrigation étaient inférieures aux besoins en eau durant la phase considérée de la culture.

Elles ont été fonction en réalité de l'eau disponible dans le puits et/ou des aléas du fonctionnement du dispositif.

b. Dynamique de l'eau dans le sol.

Du fait des limitations signalées plus haut, les quantités d'eau apportées en complément n'ont pas modifié le comportement des parcelles irriguées par rapport à celles des autres traitements.

La figure 26-1 compare l'évolution des profils du tube 2 (témoin) avec ceux du tube 10 (labour à plat), les deux sans irrigation. Les humidités du sol évoluent de façon identique à celles obtenues avec la tarière (cf. paragraphe 2.2.1. du chapitre V).

Les variations de l'humidité du sol sont importantes essentiellement dans les horizons de surface colonisés par les racines. Elles sont pratiquement nulles à partir de 1 mètre de profondeur dans l'intervalle du pas de temps de comptage, comme le confirme d'ailleurs l'évolution quotidienne des profils des charges hydrauliques (annexe 11). Ne disposant pas de données sur la conductivité hydraulique de ces sols, il nous a paru plus opportun de "boucler" les bilans hydriques à une côte plus profonde (1,20 m).

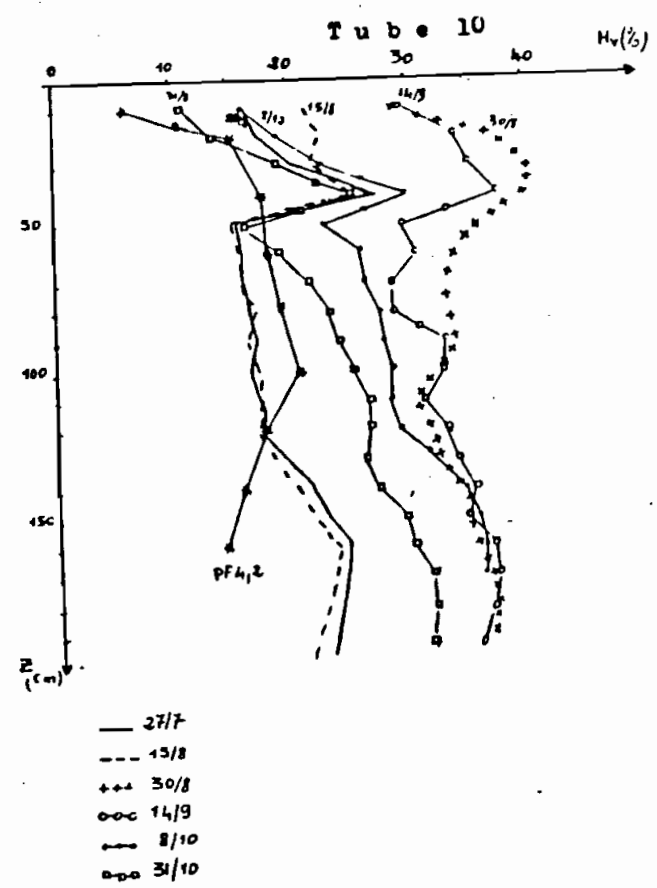
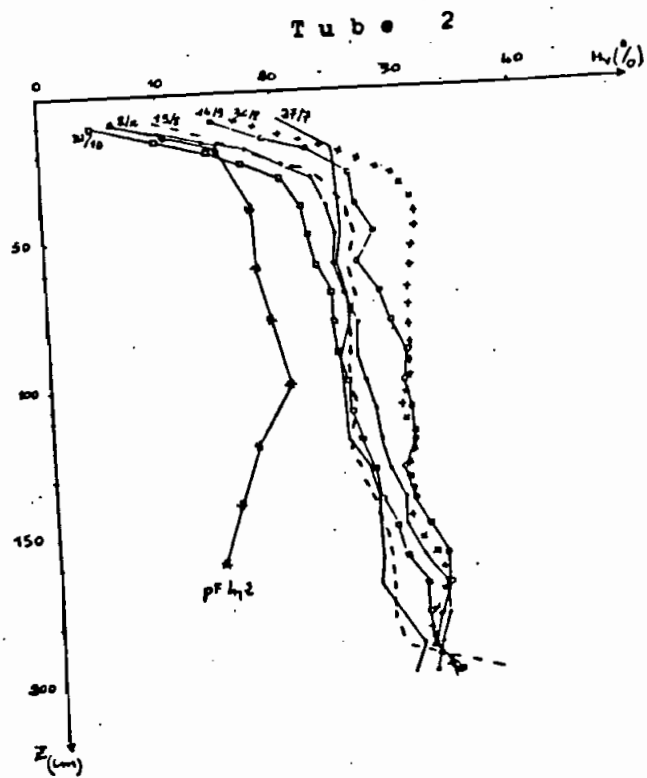


Figure 26-1 : Comparaison de l'évolution en 1988 des profils d'humidité entre le témoin (tube 2) et le labour à plat (tube 10).

c. Les observations phénologiques.

Les différences observées se situent entre les parcelles labourées et les témoins. On a les mêmes comportements déjà étudiés dans le chapitre V.

d. Rendements et composantes du rendement du sorgho.

Du fait de l'absence d'irrigation d'appoint en 1986 et 1988, seuls les résultats de l'année 1987 sont intéressants. Ils sont présentés dans le tableau 26-2.

N°	TRAITEMENT	Paille t/ha	%	Grain kg/ha	%	Grain/ Paille
T1	témoin	6.39	100	2394	100	0.37
T1A	témoin+irrigation	6.61	103	3178	133	0.48
T3	labour à plat	6.35	99	2865	120	0.45
T3A	labour + irrigation	6.88	108	3192	133	0.46
T11	labour+buttage+cloiso	7.55	118	3424	143	0.45
T12	semis billons cloiso.	7.27	114	3550	148	0.49

Tableau 26-2 : Rendements en paille et en grain, et indices de la récolte du sorgho E35-1 avec irrigation de complément à Saria.

L'essai n'a pas été interprété statistiquement car dans la pratique, l'irrigation par aspersion n'a pas été bien maîtrisée. Les quantités d'eau apportées ont subi quelques variations d'une parcelle à une autre. Les résultats sont donnés à titre indicatif pour montrer globalement l'effet de 50 mm d'irrigation complémentaire sur le rendement du sorgho en année à pluviosité erratique.

L'amélioration du rendement porte essentiellement sur le poids de grains par panicule (+ 25% entre le témoin non irrigué et celui qui a reçu l'irrigation d'appoint), d'où un indice de récolte qui a été amélioré de 30% environ.

Dans les conditions de l'essai en 1987, les quantités d'eau apportées en complément n'ont pas amélioré le rendement du labour à plat avec irrigation par rapport au billonage cloisonné. En fait, les techniques additionnelles au labour à plat sont plus performantes que l'irrigation de complément.

On peut donc penser que le labour à plat a favorisé un stockage de volume d'eau supérieur aux 50 mm apportés en irrigation complémentaire.

2.1.2. Essais de Sabouna.

Nous disposons uniquement des données des rendements du sorgho IRAT 204 qui a été utilisé durant les 2 années d'essai.

En 1986, 4 irrigations pendant les "trous pluviométriques" de plus de 6 jours successifs, dans la mesure où l'eau était disponible, ont permis d'apporter 93 mm de plus au sorgho. Les premiers semis ont été réalisés le 08/07, suivis de ressemis le 20/07.

En 1987, 3 irrigations ont apporté un volume d'eau estimés à 65 mm. Cette année là, les semis ont été aussi effectués durant le mois de juillet.

Le tableau 26-3 donne les rendements en grains obtenus avec le sorgho IRAT 204.

N°	TRAITEMENT	RENDEMENT GRAIN kg/ha	
		1986	1987
T1	témoin	1129 a	810 a
T1A	témoin+irrigation	1247 a	1249 ab
T3	labour à plat	1468 ab	1114 a
T3A	labour + irrigation	2142 c	2057 c
T12	semis billons cloiso.	1817 b	1624 b
CV		14 %	23 %

**Tableau 26-3 : Rendements en grain du sorgho IRAT 204.
Essai avec irrigation de complément à Sabouna.**

Les traitements portant une même lettre ne sont pas significativement différents à 5% selon le test de DUNCAN. Les rendements en paille ne sont malheureusement pas disponibles.

On remarque que l'irrigation d'appoint sans un travail préalable du sol n'apporte pas un gain significatif de rendement du sorgho. Cela semble lié au rôle primordial joué par le système racinaire mieux développé sur les parcelles labourées, permettant une utilisation plus efficace de l'eau.

A Sabouna, la pluviosité de 1986 et 1987 n'a pas permis au billonnage cloisonné de stocker plus d'eau que les quantités apportées par l'irrigation. Il est cependant plus efficace que le labour à plat seul ou que l'irrigation sans travail du sol au préalable.

2.2. Essai du travail du sol en sec.

2.2.1. Observations phénologiques.

D'une façon générale, les mesures et observations faites sur cet essai vérifient les conclusions tirées dans les essais multilocaux (paragraphe 2.2. du chapitre V).

On n'a pas observé d'effet particulier du travail du sol en sec sur la croissance linéaire du sorgho par rapport au labour à plat aux boeufs. Il n'y a pas d'effet additif non plus dans le cas du sous-solage ou du chiselage suivi d'un labour à plat. Il en est de même pour les autres caractères phénologiques.

2.2.2. Suivi hydrique du sol.

Le comportement hydrique est comparable à ce qu'on a observé sur les précédents essais. Le sous-solage assure cependant un meilleur stock hydrique que les autres traitements, notamment en début d'hivernage.

Dans ce cas aussi, les relevés tensiométriques à la côte 1,20 m et les profils d'humidité ont permis de "boucler" les bilans hydriques à cette profondeur du sol.

2.2.3. Rendements et composantes du rendement.

L'analyse portera essentiellement sur les différences de comportement des traitements entre les deux années d'essai, qui sont très contrastées du point de vue pluviosité.

Comme le montre la figure 26-2, tous les traitements ayant un travail du sol en sec ont produit en 1987 autant de paille qu'en 1988.

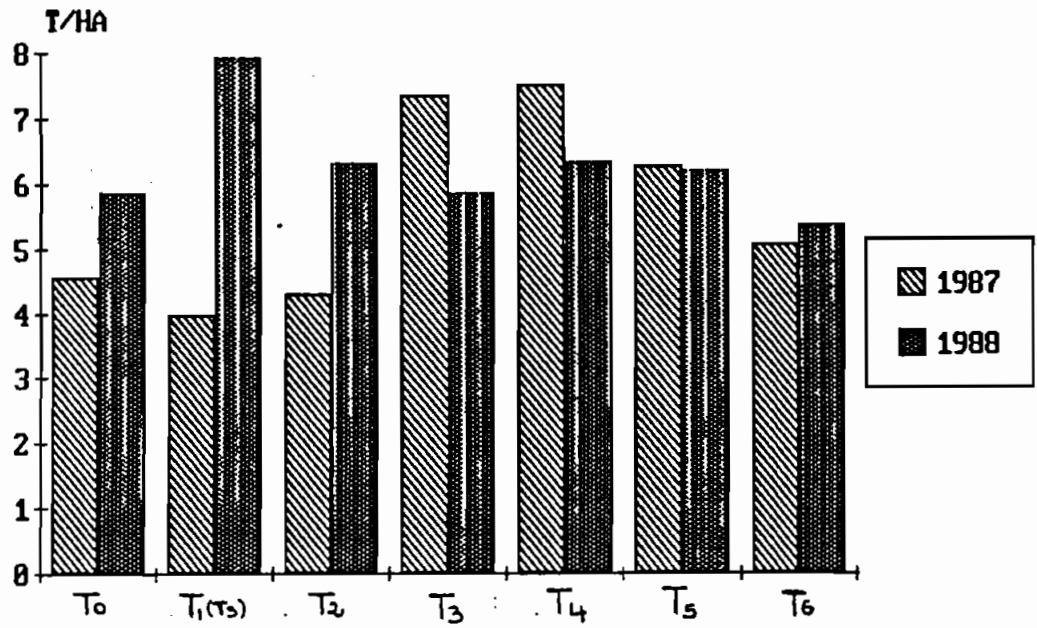


Figure 26-2 : Rendements en paille du sorgho E35-1
(essai travail du sol en sec).

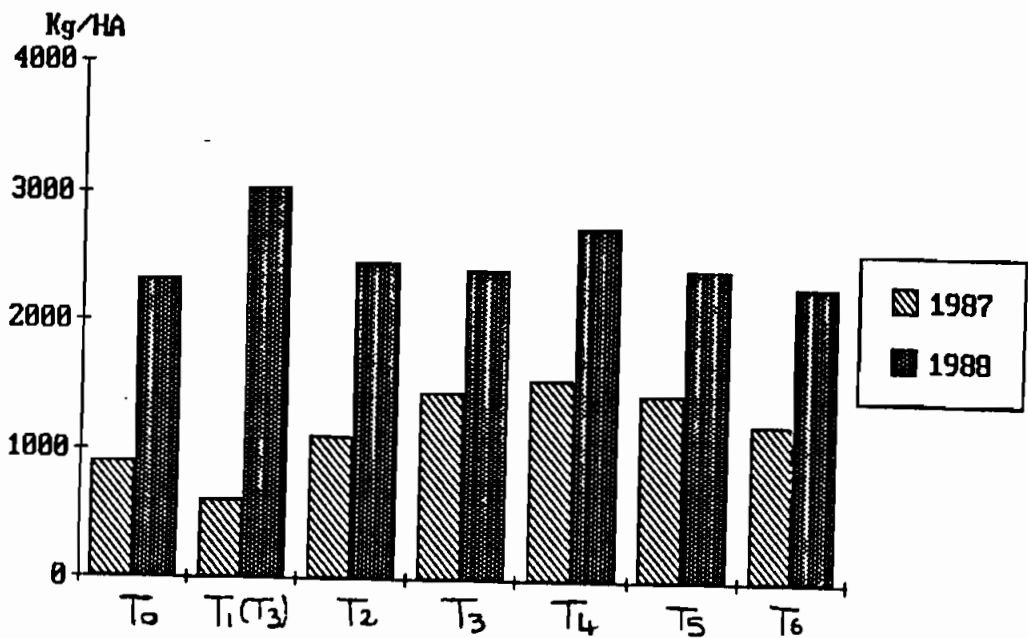


Figure 26-3 : Rendements en grain du sorgho E35-1
(essai travail du sol en sec).

En 1988, le T1 a été remplacé par un sous-solage qui est alors comparé à l'arrière-effet de celui de 1987.

En revanche, sur la figure 26-3, les différences dans les rendements en grains sont nettement à l'avantage de l'année 1988. Le rendement moyen des parcelles où on a fait un travail du sol en sec est de 1400 kg/ha en 1987 contre 2500 kg/ha en 1988 ; on étudie en fait cette deuxième année, l'arrière-effet de ces mêmes techniques. Le sous-solage de l'année 1988, quant à lui, a permis au sorgho d'atteindre un rendement moyen de 3044 kg/ha.

En deuxième année, l'effet du travail du sol en sec s'estompe en comparaison avec celui du labour à plat, car en 1988, toutes les parcelles ont été uniformément travaillées au cultivateur.

La performance du témoin (T0) atteste du niveau de rendement que l'on peut quand même atteindre avec un minimum d'intensification limité à la fertilisation de la culture, en année de bonne pluviosité et de bonne répartition temporelle de celle-ci.

3. CONCLUSION SUR LA TECHNIQUE D'IRRIGATION DE COMPLEMENT ET LE TRAVAIL DU SOL EN SEC.

En dépit des défaillances techniques des dispositifs d'irrigation, l'étude a montré que l'apport de quelques millimètres d'eau en complément pendant les "trous pluviométriques" au début et en fin de cycle du sorgho, garantit à celui-ci un bon niveau de rendement.

Mais pour être efficace, l'irrigation d'appoint doit se faire dans un champ labouré. En effet, le travail du sol détruit la croûte de battance et favorise alors l'infiltration de l'eau (même en irrigation à la raie, l'eau est soumise à une forte évaporation au détriment de son infiltration).

TROISIEME PARTIE :

FACTEURS HYDRIQUES ET RENDEMENTS DES CEREALES.

CHAPITRE VII

EXPLICATION DES RESULTATS AGRONOMIQUES PAR RAPPORT A
L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES :
NOTION D'EFFICIENCE DE L'EAU RECUE SUR LA PARCELLE.

L'expérience du site de Sabouna montre que la technique est maîtrisable par les agriculteurs, notamment dans le cadre de leurs organisations de production.

Si l'on raisonne en termes de rentabilité économique, on se rendra compte qu'il vaut mieux peut-être utiliser une culture de rente plutôt que du sorgho.

Mais faut-il toujours parler de rentabilité monétaire quand l'objectif est d'assurer à la famille la quantité de grains qui fait défaut pendant la soudure en attendant la prochaine récolte?

En ce qui concerne le travail du sol en sec, il est plus difficile de conclure après deux années seulement de résultats obtenus dans des conditions pluviométriques contrastées.

La technique de scarifiage du sol en sec pour permettre une infiltration des premières pluies répond bien au résultat cherché, d'autant plus qu'elle apporte un gain supplémentaire de rendement par rapport au labour à plat avec des boeufs.

Mais compte tenu du coût actuel de la motorisation agricole au Burkina Faso, il convient de poursuivre la réflexion afin de rendre le scarifiage en sec accessible aux paysans. Cela passera indubitablement par la mise au point d'un type de dent adapté à la culture attelée bovine.

CHAPITRE VII :

EXPLICATION DES RESULTATS AGRONOMIQUES PAR RAPPORT A L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES : NOTION D'EFFICIENCE DE L'EAU RECUE SUR LA PARCELLE.

INTRODUCTION.

A partir des mesures neutroniques et tensiométriques, il est possible d'évaluer la consommation d'eau de la culture au cours de son cycle végétatif (VACHAUD et al., 1978). C'est ce que nous avons fait, tant pour l'essai de travail du sol en sec sur la parcelle 3 que sur celui d'irrigation de complément sur parcelle 15 de Sarria.

Les résultats seront analysés en les comparant aux valeurs du bilan hydrique simulé selon le modèle développé à l'IRAT (FOREST, 1984), et dont la version BIPRAC prend en compte la dynamique de l'enracinement des cultures.

La simulation du bilan hydrique sera par la suite appliquée au niveau des essais multilocaux sur les techniques de travail du sol en humide à la traction bovine, afin d'expliquer les rendements obtenus par rapport à l'alimentation hydrique des cultures.

1. METHODOLOGIE.

1.1. Le bilan hydrique "in situ".

L'établissement du bilan hydrique de la culture au cours d'une période de temps t donnée est basé sur la détermination de la variation de stock entre les deux dates qui couvrent la période considérée.

Le stock d'eau dans une tranche de sol allant de la surface à la cote Z est donné par la formule (VACHAUD et al., 1978):

$$S_z^{\circ} = (1,5 \theta_{10} + \theta_{20} + \dots + \theta_k + \dots + 0,5 \theta_z) * 100$$

S_z° : stock exprimé en mm d'eau,

θ : teneur en eau en pourcentage.

La différence de stock calculée entre le temps $t_{(i+1)}$ et le temps t_i donne la variation de stock ΔS .

Sur la parcelle de culture et à l'aide de l'équation simplifiée de conservation de la masse, on déduit alors :

$$ETR = P \pm RUIS \pm D - \Delta S$$

ETR : évapotranspiration réelle du couvert végétal (évaporation du sol nu en début de cycle), P : pluviométrie,

RUIS : ruissellement,

D : drainage (ou remonté capillaire),

ΔS : variation du stock d'eau dans la tranche de sol considérée.

Nous avons considéré un ruissellement de 35% pour toute pluie supérieure à 15 mm sur les parcelles non travaillées (témoin), 25% pour le labour à plat et pas de ruissellement pour le billonage cloisonné et le sous-solage.

Le drainage est généralement évalué à l'aide de la loi de Darcy généralisée. Mais pour cela, il faut avoir au préalable déterminé le coefficient de conductivité hydraulique du sol à chaque cote de drainage (ou remontée capillaire) considérée.

Nous ne disposons pas actuellement des valeurs des coefficients de conductivité hydraulique des sols des sites d'essai. Et c'est pourquoi les bilans hydriques ont été évalués à des profondeurs de sol où les relevés tensiométriques quotidiens et les mesures d'humidité du sol indiquaient généralement peu de flux d'eau (1,20 m).

Nous n'avons pas analysé les variations des erreurs de nos mesures ni des évaluations, inhérentes à la méthode elle-même (VAUCLIN et al., 1984 ; VACHAUD, 1984).

1.2. Le bilan hydrique simulé.

Le modèle empirique développé à l'IRAT a été décrit au chapitre III, paragraphe 1.1. La version "BIPRAC" que nous avons utilisée tient compte de deux paramètres de l'enracinement de la culture :

- la profondeur maximale de l'enracinement,
- la vitesse de progression du front d'enracinement.

Nous avons travaillé avec les hypothèses résumées dans le tableau 37-1.

	TEMOIN PARCELLE NON TRAVAILLEE	LABOUR A PLAT	SOUS-SOLAGE ou BILLONS CLOISO.
VITESSE ENRACINEMENT	15 mm/j	25 mm/j	25 mm/j
PRFD MAX	60 cm	80 cm	80 cm
SEUIL RUISSELLEMENT	15 mm	20 mm	0 mm
COEFFICIENT	35 %	25 %	0 %
RUR	100 mm/m	110 mm/m	110 mm/m

Tableau 37-1 : Hypothèses de simulation du bilan hydrique appliquées pour les sites d'expérimentation.

Ces hypothèses tiennent compte des valeurs réellement mesurées d'enracinement des cultures (cf figure 25-16 et 25-17, et tableau 25-5).

Il est difficile de fixer des hypothèses de ruissellement tenant compte de la réalité du terrain, car le modèle ne prend pas en compte la diminution de ces facteurs due à la protection progressive du sol grâce au développement du couvert végétal.

Enfin, on a pris deux valeurs de réserve utile racinaire, pour tenir compte des différences de stock d'eau et de profondeur maximale d'enracinement observées entre les parcelles travaillées et les parcelles non labourées.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

2.1. Analyse de la correspondance entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées.

Les valeurs d'évapotranspiration réelle (ETR) évaluées à partir des mesures "in situ" sur la parcelle 3 dans l'essai comportant le travail du sol en sec, sont comparées avec celles obtenues avec le modèle de simulation "BIPRAC", dans le tableau 37-2. Le tableau 37-3 compare les mêmes données d'ETR au niveau de l'essai comportant l'irrigation de complément en parcelle 15.

PERIODES	TEMOIN		LABOUR		SOUS-SOLAGE		ETP**
	ETR	ETR	ETR	ETR	ETR	ETR	PENMAN
	in situ	simulée	in situ	simulée	in situ	simulée	mm/j
26/06 au 10/07	3.7	2.8	5.9*	3.4	7.5*	5.4	4.9
11/07 au 22/07	2.6	3.1	3.2	3.7	3.5	3.0	4.8
23/07 au 06/08	3.1	3.4	5.2*	3.6	6.6*	4.7*	4.2
07/08 au 21/08	4.0	3.9	5.8*	4.3	7.2*	5.2*	4.4
22/08 au 31/08	4.2	4.5*	2.1	4.9	4.7*	5.1*	4.3
01/09 au 15/09	2.6	2.0	4.0	1.8	5.3*	3.8	4.5
16/09 au 30/09	3.8	3.2	6.9*	3.7	7.4*	4.2	4.3
01/10 au 15/10	0.9	1.4	2.4	1.2	3.1	2.4	4.6
TOTAL ETR mm	347	336	515	367	649	475	-

* : valeurs supérieures à l'ETP.

** : les valeurs journalières de l'ETP sont déduites des valeurs décadaires calculées par la Météorologie Nationale.

Tableau 37-2 : Comparaison entre valeurs journalières d'ETR (mm) du sorgho E35-1 évaluées selon les 2 méthodes, et celles de l'ETP PENMAN (essai Travail du sol en sec, 1987).

PERIODES	TEMOIN IRRIGUE		LABOUR IRRIGUE		ETP**
	ETR	ETR	ETR	ETR	PENMAN
	in situ	simulée	in situ	simulée	mm/j
14/07 au 31/07	2.8	3.2	3.7	3.7	4.8
01/08 au 18/08	7.5*	3.4	5.8*	3.9	4.4
19/08 au 03/09	3.7	3.4	3.6	4.2	4.3
04/09 au 17/09	3.4	2.7	3.0	2.0	4.4
18/09 au 01/10	5.6*	3.2	4.8	3.5	4.5
02/10 au 15/10	1.3	1.4	0.9	1.2	4.6
TOTAL ETR mm	377	266	339	289	-

* : valeurs supérieures à l'ETP.

Tableau 37-3 : Comparaison entre les valeurs journalières d'ETR (mm) du sorgho E35-1 évaluées selon les 2 méthodes, et celles de l'ETP PENMAN (essai Irrigation de complément, 1987).

Les deux méthodes amènent des biais dans les évaluations de l'ETR du sorgho.

Les sols ferrugineux tropicaux ont généralement une faible vitesse de ressuyage à cause de la nature et du taux d'argile, qui est de 30% environ à partir de 20 cm de profondeur (annexe 2c).

Le suivi hydrique de ces sols à la sonde à neutrons n'est pas aussi aisé que sur les sols sableux (VACHAUD et al., 1977 ; CISSE, 1986).

La méthode par simulation semble mieux traduire la réalité, notamment avec l'hypothèse sans ruissellement. En effet, en P3, on arrive avec cette hypothèse à une valeur totale d'ETR de 475 mm pour un rendement de 15 qx/ha, soit environ 3 kg de grain par millimètre d'ETR. La méthode "in situ" donne sur le même traitement une valeur d'ETR totale de 649 mm, soit 2,3 kg de grain par millimètre d'ETR.

Dans le dispositif de mesure des besoins en eau des cultures de Saria, on a obtenu en 1985 avec cette même variété de sorgho, une valeur d'ETM totale de 623 mm pour un rendement de 33 qx/ha (NICOU et al., 1985). La méthode "in situ" semble donc, dans ces conditions, surestimer les valeurs d'ETR.

A noter enfin que la méthode "in situ" traduit généralement la situation à la verticale d'un point de mesure (tube). Cela pose le problème de la représentativité de ces mesures à l'échelle de la parcelle de culture (VACHAUD, 1984).

On peut dire, en conclusion, que dans les conditions d'expérimentation en 1987, on n'a pas de correspondances évidentes entre les valeurs d'ETR calculées à partir des mesures "in situ" et celles estimées par la méthode de simulation. Au Togo, par contre, des valeurs d'ETR calculées avec une autre version du même modèle de simulation du bilan hydrique ont pu être bien ajustées à celles des mesures "in situ" effectuées sur une culture de maïs pendant quatre saisons de culture (FRETAUD et al., 1988).

Nous allons néanmoins utiliser la version "BIPRAC", qui paraît la plus performante à notre disposition pour expliquer les résultats des essais multilocaux sur les techniques d'économie de l'eau.

2.2. Explication des rendements du maïs.

2.2.1. Explication des rendements des parcelles non travaillées (témoin).

On a effectué la simulation du bilan hydrique pour chacun des dix essais en maïs, en tenant compte dans chaque cas de la date de semis. Les valeurs d'ETR/ETM obtenues aux différentes phases de la culture, notées respectivement IDV, FL1, FL2 et MATU (cf. tableau 23-1), et sur l'ensemble du cycle, ainsi que la valeur totale de l'évapotranspiration réelle de la culture ETR ont été étudiées en corrélations simples avec les rendements du maïs des traitements témoins.

On obtient pour chaque valeur étudiée des points très dispersés, qui traduisent la diversité des situations. Les coefficients de corrélation obtenus sont de ce fait très faibles.

Nous avons alors déterminé les indices de rendement espéré (IRESP) définis dans le paragraphe 1.3. du chapitre III.

$$\text{IRESP1} = \text{ETR}(\text{cycle}) * \text{ETR/ETM}(\text{pc})$$

$$\text{IRESP2} = \text{ETR/ETM}(\text{cycle}) * \text{ETR/ETM}(\text{pc}).$$

Le meilleur coefficient de corrélation est obtenu avec IRESP1 ($r = 0,87$). La figure 37-1 donne la droite de régression obtenue, qui correspond à l'équation suivante :

$$\text{RDT (kg/ha)} = 10,69 \text{ IRESP1} - 1393 \quad (1)$$

D'après la relation (1), quand IRESP, l'indice du rendement espéré est inférieur ou égal à 130, le rendement en grain est nul, tandis qu'un indice de 400 donne un rendement de 29 qx/ha. Ces valeurs de rendement confirment celles déjà calculées (tableau 23-4, p. 92) avec la formule du même type obtenue au Mali.

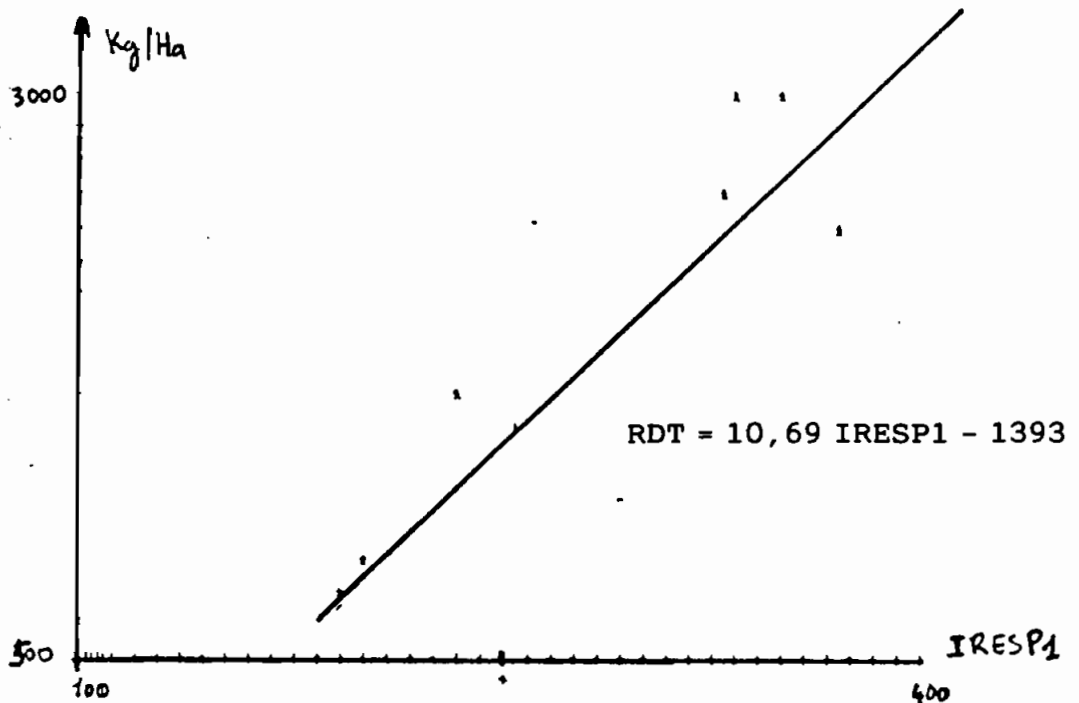


Figure 37-1 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du maïs des traitements témoins et l'indice du rendement espéré

Les détails des résultats de la simulation montrent que le déficit hydrique peut être important ($ETR/ETM \leq 0,8$) à toute phase du cycle végétatif.

C'est ainsi qu'en 1983 à Farako-Ba, le maïs semé le 16 juin a connu un stress hydrique important à l'installation et à la montaison (IDV) où le rapport $ETR/ETM = 0,56$.

Bien que par la suite, les autres phases n'ont pas connu de gros problèmes hydriques, il n'empêche que les plants de maïs à l'épiaison-floraison n'ont pas eu la même taille que si ils avaient grandi normalement. La production peut donc en être affectée.

En d'autres situations, c'est à la période de maturation que survient le déficit hydrique comme à Niangoloko (1985) et à Kié (1984) où on a obtenu des rapports ETR/ETM de 0,62 et 0,35 respectivement. Les épis déjà formés seront mal remplis, et on aboutira à des faibles indices de récolte (poids grain/poids paille).

Pour ces mêmes années, les rapports poids grain/poids paille sont de 0,60 (témoin) et 0,75 (labour + buttage et cloisonnement) à Niangoloko et de 0,35 (témoin) et 0,86 (labour + buttage cloisonné) à Kié.

2.2.2. Essai d'explication des rendements sur les parcelles travaillées.

Les coefficients de corrélation entre les rendements des parcelles labourées et les paramètres calculés par le modèle de simulation sont faibles ($r = 0,20$ à $0,47$). En fait, les rapports ETR/ETM sont généralement bons comme le montre le tableau 37-4. De ce fait, les autres problèmes liés à la variété, à la fertilité du sol, à la date de semis ou à l'entretien des parcelles deviennent prédominants.

SITE	IDV	FL1	FL2	MATU	ETR/ ETMc	ETR	RDT T3 kg/ha
Farako-Ba 82	0.96	0.94	0.96	0.98	0.94	424	2815
Farako-Ba 83	0.66	0.89	0.92	0.95	0.79	358	2650
Farako-Ba 84	0.78	0.92	0.97	0.96	0.86	390	4344*
Farako-Ba 86	0.81	0.90	0.97	0.97	0.88	400	2167
Niangolo. 84	0.98	0.93	0.93	0.97	0.95	430	2904
Niangolo. 85	0.90	0.82	0.73	0.68	0.78	367	2903
Niangolo. 86	0.90	0.82	0.73	0.78	0.88	386	1377
Kié 84	0.93	0.93	0.75	0.50	0.77	356	1243
Kié 85	0.98	0.92	0.92	0.95	0.93	418	2512
Kié 86	0.98	0.95	0.90	0.86	0.93	407	1299*

Tableau 37-4 Comparaison des valeurs d'ETR/ETM aux différentes phases du maïs avec les rendements du labour (T3).

* la variété hybride IRAT 81 utilisée à Farako-Ba en 1984 explique le rendement élevé.

- Le faible rendement de Niangoloko 1986 s'explique surtout par la date tardive de semis (18 juillet) comme on l'a montré dans la figure 23-20.

- des inondations temporaires des parcelles de maïs à Kié en 1986, ont affecté les rendements.

2.2.3. Explication des rendements du maïs par l'efficience de l'eau de pluie.

Nous avons calculé dans le tableau 37-5 les valeurs de l'efficience de l'eau (E = kg de grain/ha/millimètre ETR), en prenant les exemples pour 1984 et 1986, qui sont deux années contrastées du point de vue de la pluviométrie.

		T1		T3		T8	
SITES	ANNEE	Rdt kg/ha	E	Rdt kg/ha	E	Rdt kg/ha	E
Kié	1984	731	2.30	1243	3.49	1769	4.97
	1986	1025	2.56	1299	3.19	1843	4.53
Farako	1984	2629	7.06	4344	11.13	4139	10.61
-Ba	1986	1289	3.34	2167	5.42	1724	4.31
Niango	1984	2592	6.48	2904	6.75	2992	6.96
	1986	1363	4.00	1377	3.75	1466	3.99
Valeurs		1605	4.29	2222	5.62	2322	5.89
Moyennes							

Tableau 37-5 : Comparaison des rendements du maïs avec les valeurs de l'efficience de l'eau (E).

Les exemples étudiés dans le tableau 37-5 montrent que l'efficience de l'eau dépend de la variété. En 1984, l'hybride IRAT 81 utilisé à Farako-Ba a mieux valorisé la pluie que la variété IRAT 171 sur les deux autres sites.

L'efficience de l'eau est accrue de 31% entre le labour à plat (T3) et le témoin (T1), alors que l'augmentation moyenne du rendement en grain entre ces deux traitements est de 38%. Le maïs utilise mieux l'eau sur le labour que sur le témoin.

De même, on observe les écarts suivants entre les billons cloisonnés et le labour à plat :

4,8% d'amélioration de l'efficience de l'eau,
4,5% d'amélioration du rendement en grain.

Les différences de rendement entre les traitements peuvent donc être expliquées par l'amélioration de l'efficience de l'eau reçue sur la parcelle.

2.3. Essai d'explication des rendements du sorgho.

On a d'abord cherché à mettre en évidence les relations entre les rendements et les valeurs de ETR/ETM aux phases critiques. Les coefficients de corrélation obtenus sont faibles ($r = 0,24$ à $0,54$).

Nous avons alors regroupé les essais selon leur place sur la toposéquence. Les corrélations obtenues avec le témoin sont aussi faibles.

2.3.1. Effet du labour à plat.

Avec les parcelles labourées (T3), on obtient deux groupes:

a. Parcelles en bas de la toposéquence.

Selon la formule utilisée, les deux droites suivantes sont obtenues (figure 37-2 et 37-3):

$$- \text{IRESP1} : \text{RDT (kg/ha)} = 6,57 \text{ IRESP1} - 249 \quad (2) \quad \text{où } r = 0,79$$

$$- \text{IRESP2} : \text{RDT (kg/ha)} = 4603,8 \text{ IRESP2} - 340,69 \quad (3)$$

où $r = 0,74$.

b. Parcelles en haut de toposéquence.

Le meilleur coefficient de corrélation est obtenu avec le premier indice du rendement espéré IRESP1.

$$\text{RDT (kg/ha)} = 12,104 \text{ IRESP1} - 1619 \quad (4) \quad \text{où } r = 0,90$$

Avec IRESP2, le coefficient de corrélation est de 0,61. Les points sont plus dispersés.

$$\text{RDT (kg/ha)} = 6763 \text{ IRESP2} - 1498 \quad (5) \quad \text{où } r = 0,61.$$

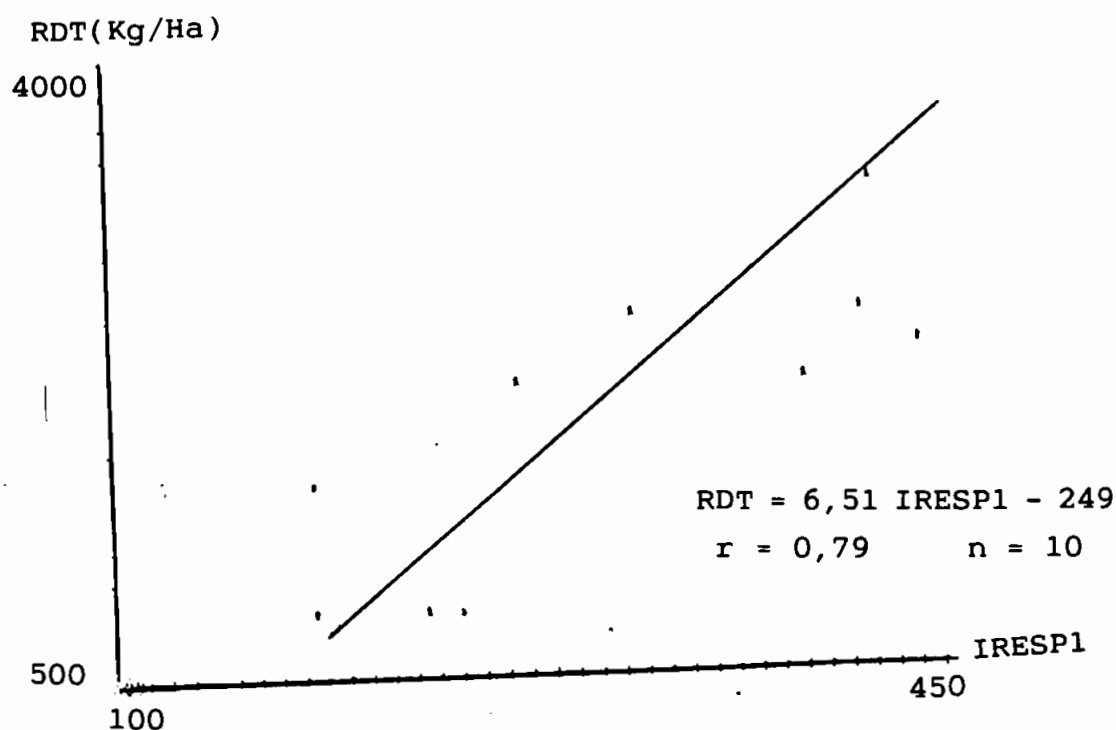


Figure 37-2 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des traitements labourés et l'indice du rendement espéré (bas de toposéquence).

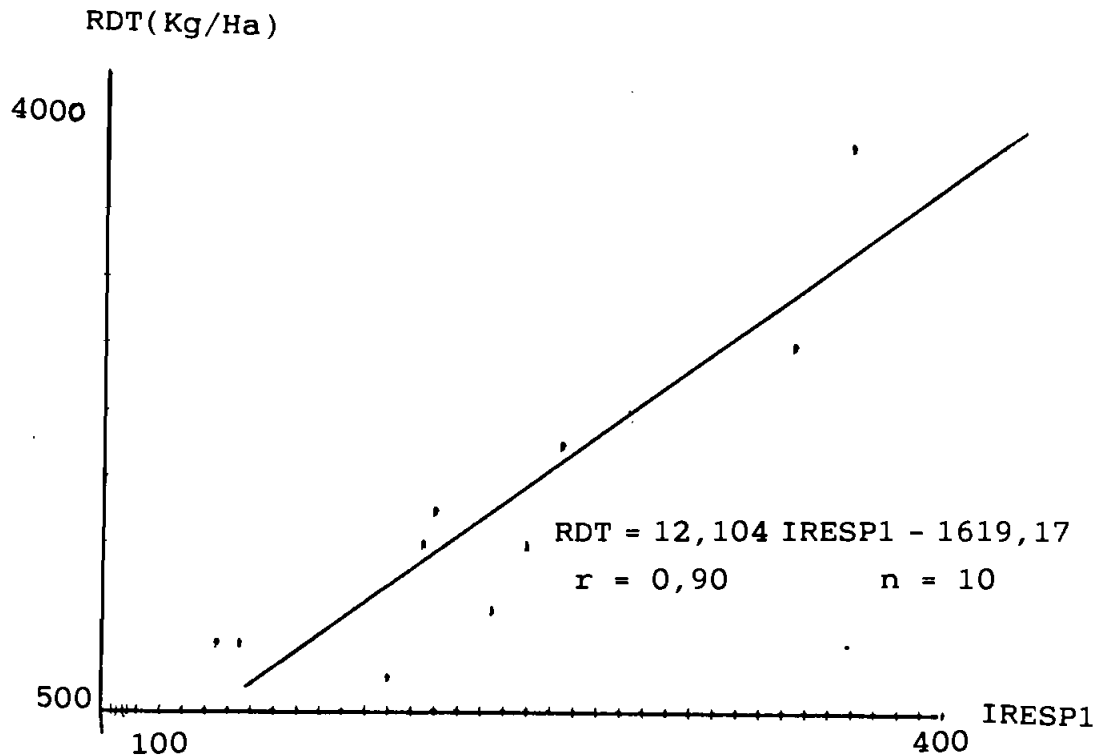


Figure 37-3 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des traitements labourés et l'indice du rendement espéré (haut de toposéquence).

Les droites 2 à 5 confirment que le rôle de l'alimentation hydrique du sorgho sur sa production en grain est prédominant à la phase critique (pc). Mais il faut aussi tenir compte du niveau de satisfaction des besoins en eau aux autres phases physiologiques.

Cela semble mieux traduit par le terme ETR de l'ensemble du cycle de la culture que par celui de ETR/ETM(cycle) qui est un rapport entre les besoins en eau réellement satisfaits et ceux que la culture peut réclamer au maximum.

2.3.2. Explication de l'effet du billonnage cloisonné.

En regroupant l'ensemble des traitements comportant des billons cloisonnés, on obtient la meilleure corrélation plutôt avec la valeur ETR/ETM à la période de la maturation (MATU) du sorgho (figure 37-4).

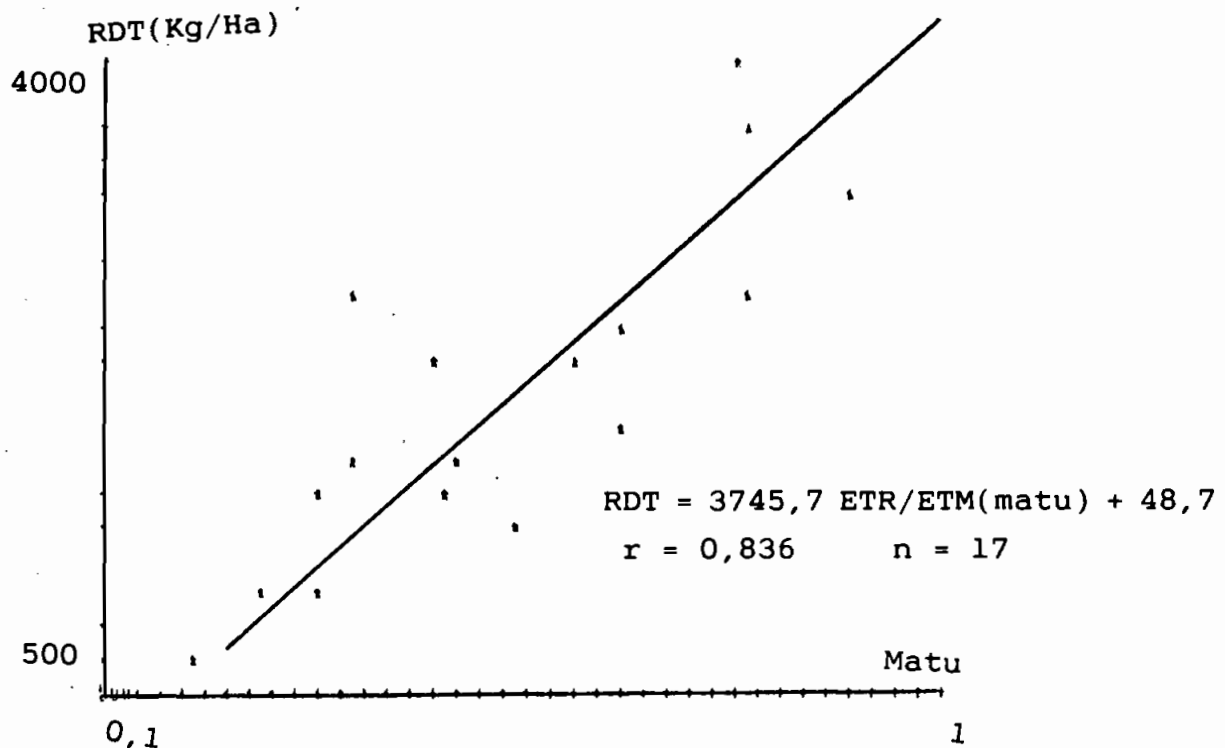


Figure 37-4 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des billons cloisonnés et l'indice ETR/ETM à la maturation.

$$RDT \text{ (kg/ha)} = 3745 \text{ ETR/ETM(MATU)} + 48,7 \quad (5) \quad \text{où } r = 0,83.$$

La corrélation avec ETR/ETM à la phase critique ne donne qu'un coefficient $r = 0,53$.

Une analyse séparée des rendements des parcelles en haut et en bas de toposéquence n'améliore pas les corrélations.

Dans le cas des techniques additionnelles au labour à plat, les augmentations constatées dans les rendements en grain sont aussi dues à l'amélioration du niveau de ETR/ETM à la maturation.

2.3.3. Explication des rendements du sorgho par l'efficience de l'eau de pluie.

Nous avons choisi les mêmes années que précédemment pour le maïs : 1984 et 1986.

Le labour permet d'augmenter l'efficience de l'eau reçue sur la parcelle d'essai de 48% par rapport au témoin. Cela s'est traduit sur la production en grain par une augmentation de 51% du rendement.

La technique additionnelle, par contre, améliore l'efficience de l'eau de 26% en moyenne et le rendement de 25% par rapport au labour à plat.

Cela s'explique par le fait que les techniques additionnelles ne modifient pas de façon sensible le système d'enracinement du sorgho par rapport au labour à plat, mais permettent de retenir plus d'eau à un stade où la plante en a le plus besoin pour élaborer le rendement en grain.

		T1		T3		T8	
SITES	ANNEE	Rdt kg/ha	E	Rdt kg/ha	E	Rdt kg/ha	E
To	1984	876	2.57	977	2.68	1219	3.35
	1986	553	1.43	626	1.43	829*	1.89
Saria	1984	523	1.37	1003	2.44	1337	3.25
Haut	1986	2412	4.72	3376	6.60	3370	6.59
Saria	1984	259	0.68	706	1.72	1790	4.35
Bas	1986	1989	3.89	2264	4.43	3165	6.19
Gampela	1984	109	0.28	2381	5.57	2594	6.07
	1986	2823	5.98	3082	6.15	3770	7.52
Valeurs		1193	2.61	1802	3.88	2259	4.90
Moyennes							

* en 1986, le traitement T8 a été remplacé par le T11 à To.

Tableau 37-6 : Comparaison des rendements du sorgho avec les valeurs de l'efficience de l'eau (E).

2.3.4. Conclusion sur le sorgho.

Il se confirme que c'est à partir de la phase critique (épiaison, floraison) que les besoins en eau du sorgho doivent être satisfaits pour assurer un bon rendement.

Le labour à plat semble avoir un effet global sur l'ensemble du cycle du sorgho, probablement grâce à son action sur le développement du système racinaire.

La technique du billonnage cloisonné doit intervenir avant le début de la maturation, pour garantir son efficacité sur le rendement en grain du sorgho.

Cela explique l'une des conclusions précédentes : la date de cloisonnement doit être retardée au fur et à mesure que l'on descend vers le sud, où l'on utilise des sorghos à durée de cycle plus longue.

2.4. Essai d'explication des rendements du mil.

Les 6 résultats annuels disponibles sur le mil nous semblent insuffisants pour établir des liaisons entre les taux de satisfaction des besoins en eau et les rendements.

Mais comme le montre le tableau 37-7, les rendements annuels sont d'autant plus médiocres que les besoins en eau du mil sont mal assurés.

SITES	ANNEE	ETR/ETM _{pc}	ETR/ETM _c	ETR	RENDEMENT kg/ha		
					T1	T3	T11
Sabouna	1982	0.69	0.56	261	1033	1378	1314*
Sabouna	1983	0.78	0.68	317	150	609	725*
Sabouna	1985	0.26	0.46	219	294	320	422
Ziga	1984	0.14	0.66	310	69	130	456
Ziga	1985	0.79	0.77	359	888	1107	1618
Ziga	1986	0.83	0.82	383	956	1321	1566

* en fait, en 1982 et 1983, le traitement T8 a été étudié à Sabouna.

Tableau 37-7 : Comparaison des rendements en grain du mil et des taux de satisfaction des besoins en eau.

N.B. Les valeurs ETR/ETM et ETR du tableau 37-7 sont celles qui ont été obtenues avec les hypothèses de simulation appliquées au labour à plat (tableau 37-1).

Le tableau 37-7 permet de faire les remarques suivantes :

- le rendement atteint semble lié à la fois à la valeur du rapport d'ETR/ETM(pc) et à celle de l'ETR. Les exemples de Sabouna en 1982 et Ziga en 1984 le montrent bien.

- les rendements de Sabouna en 1983 sont mal expliqués par les taux de satisfaction des besoins en eau présentés dans le tableau. Ils sont peut être mieux corrélés au rapport d'ETR/ETM à la maturation, qui est de 0,43.

Les résultats du mil, bien qu'insuffisants à eux seuls, confirment donc ceux obtenus avec le sorgho.

2.5. Conclusion.

On n'a pas obtenu un parfait ajustement entre les données du bilan hydrique "in situ" et celles obtenues avec le modèle de simulation BIPRAC.

Cela s'explique d'une part par les incertitudes inhérentes à chacune des deux méthodes, et d'autre part, par la faible représentativité sur le plan statistique des mesures neutroniques et tensiométriques effectuées à la verticale d'un point de la parcelle de culture.

Néanmoins, la simulation du bilan hydrique avec la version BIPRAC a permis de proposer une explication satisfaisante du rôle des techniques d'économie de l'eau dans l'amélioration du bilan hydrique et des rendements des céréales étudiées.

Les résultats de l'étude confirment et précisent les conclusions antérieures obtenues par la version BIP186 du même modèle de simulation qui ne prend pas en compte la dynamique de l'enracinement des cultures (NICOU et al., 1987) :

- le labour à plat semble être la technique de base car c'est lui qui apporte une amélioration de l'efficacité de la pluie grâce notamment à l'amélioration du système d'enracinement des céréales.

- les techniques additionnelles au labour doivent être appliquées à partir du stade de l'épiaison-floraison des céréales pour garantir leur efficacité maximum, car en favorisant le stockage de la pluie, elles créent un volant hydrique permettant à la culture d'assurer la formation de la biomasse et du grain à des périodes pendant lesquelles la pluviométrie est déficitaire.

Cet effet ne se fait pas sentir la plupart du temps dans la zone sud-soudanienne, ce qui explique l'absence d'efficacité apparente de ces techniques additionnelles sur le maïs dans les sites d'essai.

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GENERALES.

On a étudié les variations spatio-temporelles des facteurs climatiques et plus particulièrement de la pluviométrie qui, avec le faible niveau de fertilité générale des sols conditionnent essentiellement le niveau actuel de productivité des cultures pluviales au Burkina Faso.

L'étude a mis en évidence les dégradations importantes des conditions agroclimatiques amorcées à la fin de la décennie 1960-1969 et qui caractérisent la phase de sécheresse actuelle dans toute la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Au Burkina Faso, cela s'est traduit essentiellement par :

- une diminution importante des volumes annuels des précipitations,
- une réduction des durées des périodes favorables pour les semis,
- une réduction de la durée utile de la saison des pluies,
- une augmentation du risque d'apparition de périodes sans pluie au cours de l'hivernage, et des durées de ces dernières.

Ces aléas climatiques expliquent, en partie au moins, les faibles niveaux des productions agricoles du pays, qui n'arrive pas à assurer son auto-suffisance alimentaire de façon régulière.

Mais l'étude des écarts de productivité des sorghos et des maïs constatés entre les essais de longue durée des stations de recherche et le milieu réel a montré que la sécheresse à elle seule, n'explique pas les faibles rendements généralement observés sur ces mêmes céréales et le mil dans les champs des paysans. Il faut y voir, entre autres facteurs d'ailleurs, le manque de transfert des innovations techniques, mises au point dans les stations de recherche, vers le monde rural.

Par la simulation du bilan hydrique selon le modèle développé à l'IRAT, on a étudié les conditions actuelles d'adaptation de plusieurs sorghos, mils et maïs, chacun défini par la durée de son cycle de culture.

Cette étude a permis de mieux préciser, pour chaque zone agroclimatique et durant la présente phase de sécheresse :

- les périodes de semis favorables, permettant à chaque céréale d'assurer au moins 80 % de ses besoins en eau, 8 années sur 10, et notamment pendant la phase épiaison-floraison, considérée comme la "période critique" de réussite de ces cultures,
- les longueurs des cycles de culture des sorghos, mils et maïs qui paraissent les mieux adaptées actuellement.

Les céréales dont les cycles sont les plus longs garantissent un meilleur niveau d'indice du rendement espéré.

Mais l'étude a mis aussi en évidence, au niveau de chaque zone, que ce sont malheureusement les périodes favorables de semis des variétés à cycle plus long qui sont actuellement devenues les plus courtes.

Il faudrait donc préconiser plutôt :

- dans la zone sud-soudanienne, des variétés à cycle intermédiaire (110 jours dans le cas du maïs), notamment quand la saison des pluies démarre tardivement.

- dans la zone nord-soudanienne, des variétés dites semi-précoces de sorgho et de mil (100 à 110 jours), et précoces pour le maïs (90 jours).

- dans la zone sahelienne, des variétés précoces de sorgho et de mil (90 jours).

Les expérimentations agronomiques ont montré que les techniques de travail du sol étudiées contribuent à améliorer l'alimentation en eau des sorghos, des mils et des maïs grâce à leur action sur le contrôle du ruissellement et de l'érosion, permettant ainsi d'améliorer les possibilités d'infiltration des pluies et de stockage de l'eau.

Les effets des techniques d'économie de l'eau sur les rendements des céréales étudiées varient essentiellement en fonction :

- de la pluviosité de l'année et de sa répartition spatio-temporelle ;

- de la nature des horizons superficiels du sol, généralement liée à la situation du champ sur la toposéquence;

- de la technique elle-même.

La diversification des sites d'expérimentation a permis de tirer les conclusions suivantes :

- le labour à plat en culture attelée bovine, présent dans tous les essais, apparaît, du point de vue de son efficacité, comme la technique de base en matière d'économie de l'eau. Il paraît même indispensable dans le cas du maïs.

- le scarifiage du sol "en sec" avec traction animale compte tenu des types de dents actuellement disponibles, ne semble pas avoir d'effet sur les rendements du sorgho.

- en revanche, le scarifiage du sol "en humide", suivi de binages après chaque pluie importante (supérieure à 20 mm) a une efficacité équivalente à celle du labour à plat sur les rendements du mil et du sorgho dans les zones nord-soudanienne et sahélienne.

- le buttage seul effectué sur le sorgho n'apporte pas de plus-value par rapport au labour à plat aux rendements de cette plante. Cette technique n'a donc d'intérêt que si elle est accompagnée d'un cloisonnement des billons.

- la date de cloisonnement des billons peut être d'autant plus retardée que les pluviométries sont plus importantes, car cette technique joue un rôle primordial à partir du stade d'épiaison-floraison, et plus particulièrement à la maturation dans le cas du sorgho.

Le cloisonnement des billons, qui jusqu'à présent est réalisé manuellement, nécessite de la part de l'agriculteur un temps de travail important. En effet, d'après les études de l'IITA/SAFGRAD (1982), il faut 27 jours-homme/ha pour confectionner à la main des billons cloisonnés à environ un mètre d'écartement.

L'application pratique des techniques de travail du sol étudiées va indubitablement rencontrer des contraintes aussi bien techniques que socio-économiques, qu'il faudra lever pour assurer leur adoption par les agriculteurs.

Deux prototypes de billonneur-cloisonneur adaptés à la culture attelée sont actuellement en expérimentation dans les organismes de recherche.

Nous avons aussi débuté, en 1989, en collaboration avec le CEEMAT/CIRAD, une expérimentation sur de nouveaux types de dents servant à réaliser le scarifiage en sec, avec la traction bovine.

La suite de notre programme de recherche va donc privilégier aussi le volet de recherche adaptative sur les matériels agricoles.

Les résultats des deux autres techniques d'amélioration du bilan hydrique des cultures ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- une irrigation de complément n'est pleinement valorisée sur le sorgho que si elle est faite sur un sol préalablement labouré.

- en zone nord-soudanienne, les techniques qui réduisent assez efficacement le ruissellement et l'érosion (billons cloisonnés) peuvent, dans certains cas, remplacer une irrigation d'appoint sur le sorgho.

- le scarifiage du sol en sec en culture motorisée est efficace pour lutter contre le ruissellement et l'érosion, et de ce fait, améliore les rendements du sorgho.

La réalisation pratique des deux techniques ne peut se faire actuellement au Burkina Faso que dans le cadre des organisations d'agriculteurs : le paysan moyen burkinabé à titre isolé ne peut pas mobiliser suffisamment d'argent pour payer la réalisation de ces techniques dans son champ.

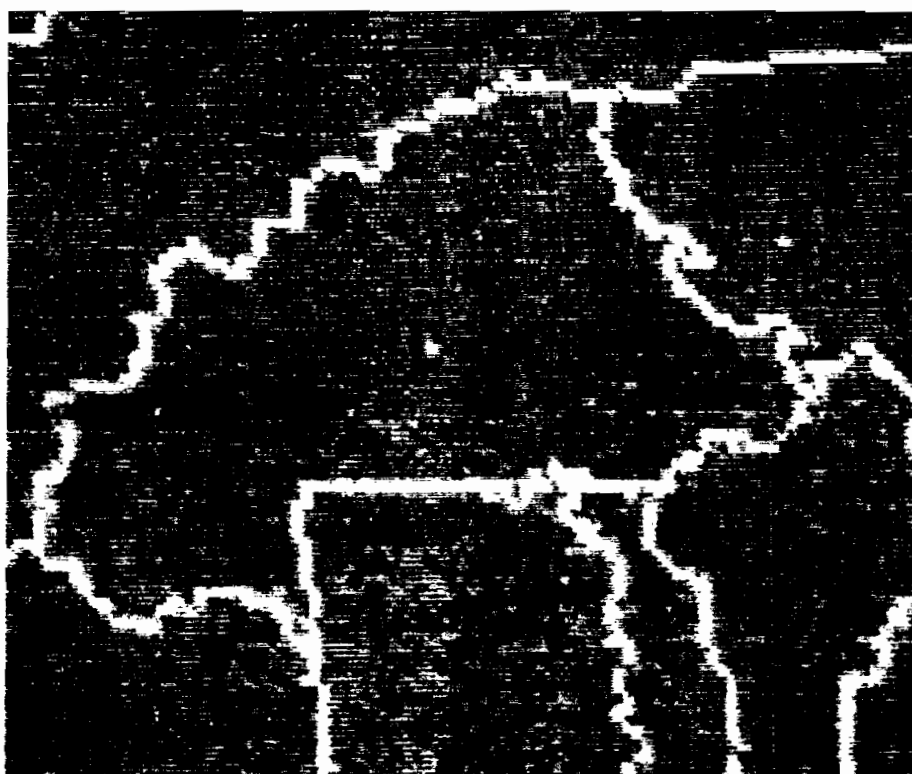
La technique du scarifiage du sol en sec exigerait même de mettre en place un programme au niveau national, qui permettrait de l'associer au programme actuel de réalisation des sites anti-érosifs.

On peut recommander que les différentes Organisations Non Gouvernementales qui opèrent dans le monde rural incluent la technique de scarifiage mécanisé du sol en sec comme moyen de réduction du ruissellement et de l'érosion et de récupération des sols, à condition que ces méthodes soient expliquées et acceptées par les agriculteurs.

Il est important de noter que le modèle de simulation du bilan hydrique développé à l'IRAT, en dépit des insuffisances que présente actuellement chacune des versions utilisées, permet d'obtenir des résultats qui cadrent assez bien avec les réalités du terrain. C'est ainsi que ce modèle a permis d'expliquer les rendements de chaque essai agronomique, par rapport à l'amélioration du bilan hydrique de la culture et à l'efficience de la pluie reçue sur la parcelle.

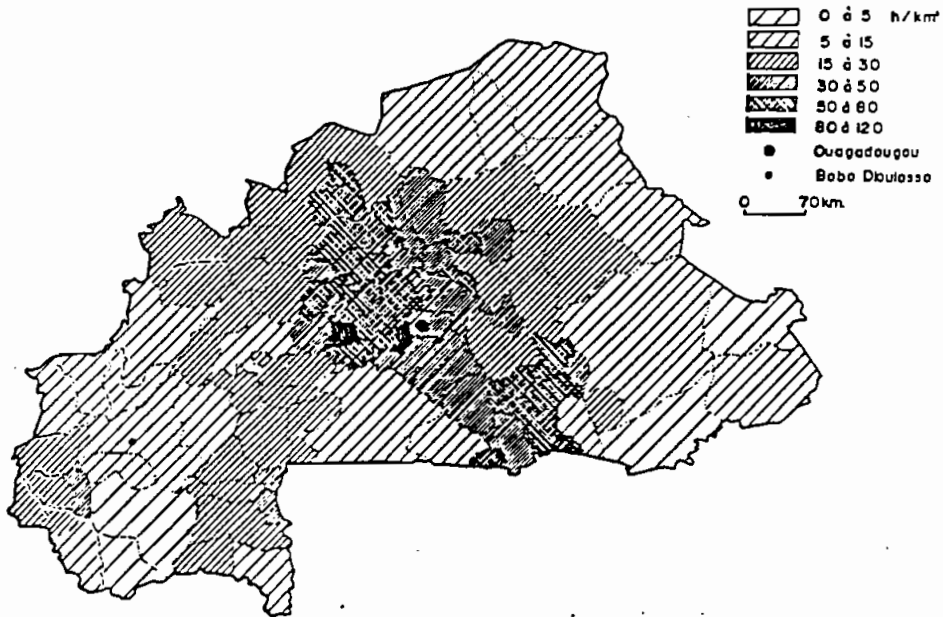
Il faut enfin préciser que l'application des techniques d'économie de l'eau à la parcelle ne suffit pas pour résoudre les problèmes de la sécheresse au Burkina Faso ou ailleurs dans la sous-région.

Il faudrait beaucoup plus que cela, et à différents niveaux d'intervention. C'est du moins l'un des constats qui se dégage à l'examen de la carte n° 30, qui présente l'indice de végétation naturelle interprétée à partir de l'imagerie satellitaire (NOAA) par le Centre AGRHYMET à Niamey, pour la saison pluvieuse 1989. Cette carte donne la situation au 30 septembre 1989. On y voit notamment une poussée vers le sud-est d'une zone déficitaire qui correspond aux régions de forte pression démographique de la zone nord-soudanienne (carte n° 31).



rouge : pas de végétation (désert)
jaune : végétation épars (sahel)
vert : végétation moins épars (soudanienne)
bleu : végétation dense (forêt)

Carte n° 30 : Indice de végétation normalisé,
situation au 30/09/89 (source : IMAGERIE NOAA/CENTRE AGRHYMET).



**Carte n° 31 : Densités de population par arrondissement
au Burkina Faso (source : MIETTON, 1988).**

Ces deux dernières cartes posent les problèmes de lutte contre de désertification et la "sahélisation" qui dépassent largement les limites de notre propos, mais qui sont à inclure dans le problème d'ensemble de la sécheresse.

Face à cette situation, les actions futures de notre programme de recherche devront être axées sur :

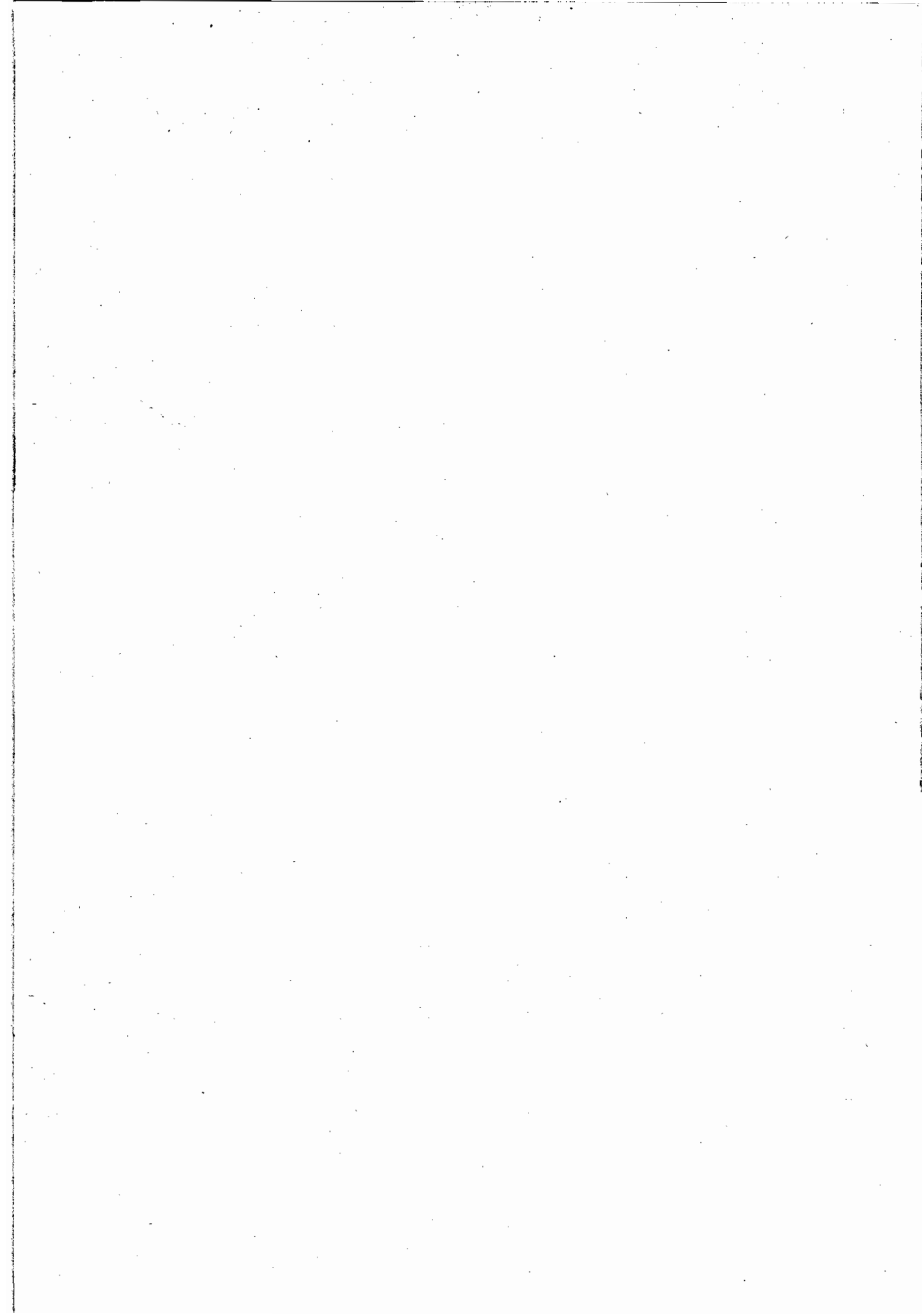
- l'amélioration du bilan hydrique à l'échelle du bassin versant et du terroir villageois. Cela implique des recherches portant sur une meilleure gestion conservatoire du sol.

- les cultures en couloirs (ALLEY CROPPING) associant ligneux et céréales. Cette activité, qui a déjà démarré en 1986 sur un seul site, n'avait pas encore permis d'acquérir des résultats exploitables dans le cadre de ce mémoire.

- la régénération des terres dégradées.

Toutes ces activités ont été inscrites parmi les priorités du programme national de recherche Eau-Sol-Fertilisation-Irrigation-Machinisme Agricole (ESFIMA) de la structure nationale de recherches agricoles : l'INERA.

BIBLIOGRAPHIE



REFERENCES CITEES DANS LE TEXTE.

- ARRIVETS J., 1973** - Contribution à l'étude de la fertilisation des sorghos locaux sur les sols ferrugineux tropicaux du Plateau Mossi. Compte rendu de 4 années d'expérimentation à Saria (Haute Volta, 1968-71). Rapport IRAT/HV, 67 P.
- ASSAD E.D., 1987** - Utilisation des satellites météorologiques pour le suivi agroclimatologique des cultures en zone sahélienne. Cas du Sénégal. Thèse du Diplôme de Doctorat USTL, Montpellier II.
- BALDY CH., 1978** - Utilisation d'une relation simple entre le bac classe A et la formule de Penmann pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne. Ann. Agron. 1978, 29(5). P 439 - 452.
- BALDY CH., 1978** - Etude du régime d'établissement des pluies en Haute Volta. Dir. Météo. Nat. Haute Volta, 18 P.
- BALDY CH., 1980** - Cours d'agrométéorologie et de bioclimatologie de la zone soudano-sahélienne. Institut Supérieur Polytechnique, Ouagadougou, 90 P.
- BALDY CH., 1985** - Contribution à l'étude des applications de la bioclimatologie végétale à l'agrométéorologie des zones arides et semi-arides en climats méditerranéen et tropical. Thèse docteur es-sciences. Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme. Université d'Aix-Marseille.
- BELEM P.C., 1985** - Coton et systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso. Thèse 3ème cycle, géographie de l'aménagement de l'espace rural, Université Paul Valéry, Montpellier III, 322 P et annexes.
- BEDU L., 1986** - Contribution à la mise en valeur des sols du Yatenga. Le cas de Ziga. Mémoire de fin d'Etudes ENSAA/CNEARC/CIRAD-DSA, 65 p.
- BILLAZ R., 1982** - Problèmes posés par l'évaluation d'un programme de culture attelée. Exemple du Yatenga en Haute-Volta. Economie Rurale, n° 147-148.
- BLACK C.C., 1971** - Ecological implications of dividing plants into groups with distinct photo synthetic production capacities. Advanced Ecological Research 7 : 87-114.
- BRUNET-MORET Y., 1963** - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Haute-Volta. Rapport CIEH-ORSTOM, 23 P.
- BUNASOLS, 1985** - Etat de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. Document technique n°1, 47 p.
- CASENAVE A. et VALENTIN C., 1988** - Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. CEE/ORSTOM, 202 P. multigr.

- CHARREAU C., NICOU R., 1971** - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques. Paris, IRAT, 254 P. (Bulletin Agronomique, n° 23).
- CHOPART J.L., 1980** - Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de doctorat d'Université. Institut National Polytechnique de Toulouse, 160 P. et annexes.
- CHOPART J.L., 1983** - Etude du système racinaire du mil (*Pennisetum typhoides*) dans un sol sableux du Sénégal. *Agro. Trop.* 38 : 37-46.
- CIEH/IRAT, 1983** - Valorisation Agricole des ressources pluviométriques. Synthèse de l'atelier IRAT/CIEH du 27/11/82 au 04/12/82, 136 P.
- CISSE L., 1986** - Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du centre-nord du Sénégal. Thèse de Diplôme de doctorat en sciences agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 184 P.
- CORTIER B., POCHTIER G., IMBERNON J., 1988** - Le maïs au Sénégal: effet des techniques culturales et des conditions hydriques en culture pluviale. *Agro. Trop.* 43 (2) : P 85-90.
- COUCHAT P., 1974** - Mesure neutronique de l'humidité des sols. Thèse de Docteur es-sciences, Université Paul Sabastier de Toulouse 116 p.
- COUCHAT P., 1983** - Les applications de la méthode neutronique dans la recherche agronomique. Proc. Symposium International "Utilisation des isotopes et des rayonnements en physique des sols et irrigation. Aix-en-Provence, AIEA éd., Vienne.
- CTFT, 1973** - Défense et restauration des sols : Gampela, campagne 1972. Rapport CTFT/Min. Agri. HV OUAGADOUGOU, 56 P. multigr.
- CTFT, 1974** - Rapport annuel du CTFT en Haute Volta. Rapport CTFT/Min. Agri. HV OUAGADOUGOU, 56 P. multigr.
- DANCETTE C., 1976** - Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures. *L'Agro. Trop.*, 31 (4): 321-338.
- DANCETTE C., 1983** - Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *l'Agro. Trop.*, 38 (4) : 281-294.

- DAUDET F.A. et VACHAUD G., 1977** - La mesure neutronique du stock d'eau du sol et de ses variations. Application à la détermination du bilan hydrique. *Ann Agro* 1977, 28 (5): 503-519.
- DENIS J.B. et VINCOURT P., 1982** - Panorama des méthodes statistiques d'analyse des interactions génotype X milieu. *Agronomie* 2 (3), 219-230.
- DIARRA B., LIDON B., TRAORE S., VALET S., 1987** - Agroclimatologie du Mali. Les cultures associées au Mali. Communication présentée au séminaire sur les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 sept. 1987. I.E.R.-ICRISAT.
- DUCREUX et AL., 1989** - Travail du sol et économie de l'eau en zone semi-aride et en zone à pluviométrie déficitaire. Rapport final du projet CEE/CEEMAT-INERA, 58 P + annexes.
- DUGUE P., 1982 - 1987** - Rapport d'activité du projet de Recherche-Développement au Yatenga INERA/DSA-CIRAD, 6 volumes. Ouagadougou, Burkina Faso.
- DUGUE P., 1985** - L'utilisation des résidus de récolte dans un système agropastoral sahélo-soudanien au Yatenga. Collection documents système agraire, n°4 DSA/CIRAD, Montpellier.
- DUGUE P., 1986** - Bilan de quelques expériences de machinisme agricole au Yatenga. Perspectives pour le développement. INERA/DSA-CIRAD, rapport multigr., 30 P.
- DUGUE P., 1989** - Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso). Thèse Docteur-Ingénieur sciences agronomiques option phytotechnie, Ministère de l'Agriculture ENSAM.
- DUGUE M.J., 1986** - Fonctionnement des systèmes de production et utilisation de l'espace dans un village du Yatenga : Boukéré (Burkina Faso). Collection de documents Systèmes Agraires n°1, DSA/CIRAD 54 P., Montpellier.
- EAGLEMAN, 1971** - An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agri. Météorol.* 8 (4-5) : P 385-394.
- EHLERS W., 1986** - Transpiration and yield relations of oats Comm. XIII Congr. ISSS (Hambourg).
- ELDIN M., 1984** - Caractérisation de la sécheresse. Synthèse introductive - In : "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée". Actes du colloque "Résistance à la sécheresse en milieu Intertropical : quelles recherches par le moyen terme ?", Dakar, Sénégal, 24-27 Septembre - Paris, CIRAD-CILF, P. 13-20.

- Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 1980** - Réponse des rendements à l'eau. Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage n° 33. ROME.
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 1986** Annuaire F.A.O. de la Production, vol. 40, édit. F.A.O., Rome.
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 1987** Annuaire F.A.O. Engrais, vol. 37, édit. F.A.O., Rome.
- FOREST F., LIDON B., 1982** - Influence du régime pluviométrique sur la fluctuation du rendement d'une culture de sorgho intensifiée. In : "ICRISAT-WMO Planning meeting on the agrometeorology of sorghum and millet in the semi-arid tropics", Hyderabad, India, 15-19 nov. 1982, 20 P.
- FOREST F., 1989** - Synthèse des opérations de recherche 1987-1988. Rapport IRAT/CIRAD, Montpellier, 28 P + annexes.
- FRANQUIN P., FOREST F., 1977** - Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. L'Agron. Trop. 32 (1) : 7-11.
- FRETEAUD J.P., LIDON B., MARLET S., 1984** - La détermination des coefficients culturaux en zone soudano-sahélienne. Proposition d'une méthode générale et pratique IRAT/DEV, IRAT/CIRAD, Montpellier.
- FRETEAUD J.P., POSS R., SARAGONI H., 1987** - Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques in situ sous culture de maïs. Agronomie Tropicale, 42 (2) : 94-102.
- GARDNER W.R., 1961** - Les relations entre le sol et l'eau dans les climats arides et semi-arides. Compte rendu de recherches, UNESCO, Paris, t. XV, P 41-68.
- GUILLOBEZ S., 1979** - "Les milieux vertiques" du bassin de la Volta Blanche dans la région de Bagré (Haute Volta). Agro. Trop. 34 (1) : 23-39.
- GUILLOBEZ S., 1985** - Milieux naturels du Burkina Faso. Esquisse physiographique. Programme milieu IRAT, carte au 1/1.000.000.
- GUINKO S., 1984** - Végétation de la Haute-Volta. Thèse Doctorat es-sciences, Université de Bordeaux III, Tome 1 et 2, 394 P.
- HALAIRE et BALDY, 1963** - Potentiel matriciel de l'eau dans le sol et tension superficielle. Ann. Agronomie 14 (4) : 381-391.
- HALAIRE M., 1964** - L'eau et la production végétale. Bull Tech. d'Inf. des Ingénieurs des Services Agricoles n°189 - 25P.

- HALAIRE M., 1965** - Potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. Bull Rilem n°29 - 28 P.
- HATFIELD J.L., REGINATO R.J., IDSO S.B., 1984** - Evaluation of Canopy temperature evapotranspiration models over various crops Agric. and Forest Météorol., 32 (1) :41-53.
- HATFIELD J.L., VAUCLIN M., VIERA S.R., BERNARD R.** - Surface temperature variability patterns within irrigated fields. Agric. Water Manager 8 : 429-437.
- HATFIELD J.L., WANJURA D.F., BARKER G.L., 1984** - Canopy temperature response to water stress under partial canopy. Amer. Soc. of Agric. Eng. paper n° 84-4011, 21 P.
- HENIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969** - Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson et cie, 2ème édition, Paris.
- HILLEL D., 1984** - L'eau et le sol : principe et processus physiques. Vander édition.
- International Crop Research Institut in Semi Arid Tropics, 1982** - Résumé du rapport annuel. Programme Coopératif ICRISAT Ouagadougou, Haute-Volta.
- International Crop Research Institut in Semi Arid Tropics, 1987** - Programmes Ouest-Africain de l'ICRISAT. Rapport annuel 1987, Centre Sahélien de l'ICRISAT, Niamey, NIGER.
- Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles, 1986** - Programmes sorgho-mil-maïs : fiches techniques des variétés recommandées à la vulgarisation, Ouagadougou, Burkina Faso.
- International Institut for Tropical Agriculture/SAFGRAD, 1982** - Rapport annuel. Programme d'agronomie du maïs, Ouagadougou, Haute Volta.
- Institut National de la Statistique et de la Démographie, 1986** - Recensement général de la population du Burkina Faso (10-20 déc. 1985). Résultats provisoires, 47 P.
- Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières** - Rapports de synthèse et rapports annuels de 1967 à 1983 de l'IRAT en Haute Volta, OUAGADOUGOU, IRAT.
- JACKSON R.D., REGINATO R.J., IDSO S.B., 1977** - Wheat canopy temperature : a practical tool for evaluating water requirements water resour res. 13 (3) 651-656.
- JENNY H., 1964** - Etudes agropédologiques des stations de Saria et de Farako-Ba (Haute Volta). Rapport IRAT/Haute Volta, Ouagadougou.
- KATERJII N., HALLAIRE M., PERRIER A., DURAND R., 1983** -Transfert hydrique dans le végétal. Modélisation à l'échelle du couvert végétal en conditions naturelles. Acta

- KABORE M., 1984** - Les sols et leur mise en valeur à Ziga. L'approche paysanne et l'impact des innovations. Mémoire de fin d'Etudes, Institut Supérieur Polytechnique, Université de Ouagadougou 75 P.
- KILLIAN J., 1974** - Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. Agron. Trop. 29 (2) : 141-155.
- LAHAYE J.P., 1980** - Etude des pluies journalières de fréquence rare en Haute Volta. Rapport CIEH, 30 P. multigr. Ouagadougou, Haute Volta.
- LEPRUN J.C., MOREAU R., 1964** - Etude pédologique de la région ouest-nord de la Haute Volta. Rapport ORSTOM, centre de Dakar, 341 P. multigr.
- LEPRUN J.C., BOULET R., 1969** - Etude pédologique de la Haute Volta, région est. ORSTOM, centre de Dakar, 331 P.
- LIDON B., DABIRE B., 1980** - Lutte contre le ruissellement et l'érosion CIEH-IPD/AOS-ISP, Ouagadougou, Haute Volta.
- LUC J.P., 1978** - Caractérisation hydrique des sols, utilisation des mesures d'humidité et de charge "in situ", comparaison avec les mesures de laboratoire. Thèse de Doctorat de Spécialité. USTL Montpellier.
- MAERTENS C., 1964** - La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. Agron. XV, vol. 5.
- MARCHAL J.Y., 1983** - Yatenga - Nord Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM, n°167 P. 849 P.
- MAZLIAK P., 1974** - Physiologie végétale, nutrition et métabolisme ed. Hermann collection.
- MIETTON, 1981** - Lutte anti-érosive et participation paysanne en Haute-Volta. Géographie économie tropicale 5(1) : 57-72.
- MIETTON, 1986** - Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. Cah. ORSTOM série pédologie, 22 (22) : 181-196.
- MIETTON, 1988** - Dynamique de l'interface Lithosphère-atmosphère au Burkina Faso. Contribution géomorphologique à l'étude de l'érosion en zone tropicale de savane. Thèse Doctorat d'Etat es-LETTRES. Université Grenoble.
- MILLEVILLE, 1984** - Sècheresse et évolution des systèmes agraires dans le Sahel Voltaïque. La sècheresse en zone intertropicale pour une lutte intégrée. Actes colloque: "résistance à la sècheresse en milieu intertropical" Dakar 24-27 Sept 1984.

Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 1984 - Bulletin de statistiques agricoles. Campagnes agricoles 1982-1983, 1983-1984. Rapport de la Direction des Etudes et de la Planification, Ouagadougou, Burkina Faso.

Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 1988 - Situation des campagnes agricoles de 1984 à 1988. Rapport de la Direction des Etudes et de la Planification, Ouagadougou, Burkina Faso.

Ministère de l'Economie Nationale - Rapports annuels de 1960 à 1966 de la Direction des Services Agricoles, Ouagadougou, Haute Volta.

N GUESSAN A., 1985 - Analyse de l'évapotranspiration réelle de l'ananas (*ananas comosus* L.) en Basse Côte d'Ivoire. Thèse Docteur-Ingénieur ENSA Rennes 130 PP.

NICOU R., 1975 - Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Agron. Trop. 30 (4) : 325-343.

NICOU R., OUATTARA B., SOME L., 1985 - Soil and water management in Burkina Faso 10ème conférence de l'ISTRO GUELPH 8-12 juillet 1985.

NICOU R., OUATTARA B., SOME L. - Rapports de synthèse "Economie de l'eau", campagnes agricoles 1984, 1985 et 1986. Programme ESFIMA, INERA, Ouagadougou, Burkina Faso.

NICOU R., OUATTARA B., SOME L., 1987 - Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso INERA, Ouagadougou, multigr., 77 P.

OUATTARA N.F., 1981 - Evaluation des caractéristiques climatiques sur le 13° parallèle en Haute-Volta. La météorologie VIème série n°26 Sept 1981.

OUATTARA N.F., G NOUMOU F., 1982 - Début et fin de la période culturale du sorgho en Haute-Volta 2ème partie Direction à la météo Ouagadougou Ronéotypé 50 PP.

OUEDRAOGO J.P., OUEDRAOGO J.P.G., BALDY C., 1981. - Premières données sur le rayonnement global et la durée d'insolation en Haute Volta. La météorologie, VIème série n° 25 : 123-134.

PALLIER G., 1978 - Géographie générale de la Haute Volta. Université de Limoges, 241 P.

PENMANN H.L., 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc roy Soc London (A) 193 : 120-145.

- PERRIER A., 1975** - Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles.
 I Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles.
 II Expression et paramètres donnant l'ETR d'une surface mince.
 III ETR et ETP des couvert végétaux.
 Ann. Agron. 1975 26 (1) 1-18 ; 26 (2) 105-123 ; 26 (3) 229-243.
- PERON Y., ZALACAIN V. et al, 1975** - Atlas de la Haute Volta. In "Les Atlas Jeune Afrique", éditions J.A. Paris.
- PERRIER A., HALLAIRE M., 1979** - Rapport d'évapotranspiration potentielle ETP calculée à l'évaporation EV mesurée sur bac.
 I Justification d'une relation expérimentale obtenue en région tropicale.
 II Expression en fonction d'un facteur de déséquilibre hydrique entre les surfaces évaporantes et l'air.
 Ann. Agron. 30 (4) : 329-336 et 339-346.
- PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981**
 Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques.
 Agron. Trop. 36 (2) : 122-133.
- PIERI C., 1989** - Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT.
- RENARD J., 1966** - Aperçus sur le climat de la Haute Volta. ASECNA. Dir. Météo. Haute Volta, 135 P.
- RESEAU MAIS, 1989** - Catalogue de variétés de maïs recommandées par les chercheurs du réseau maïs de la CORAF, CIRAD Montpellier.
- RITCHIE J.T., 1983** - Efficient water use in crop production : discussion of the generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In "Limitations to efficient water use in crop production". Madison, Amerc. Soc. of Agron., P 29-44.
- ROOSE E., 1977** - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest: vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. Paris, ORSTOM, 108 P. (travaux et documents de l'ORSTOM, n°78).
- ROOSE E., ARRIVETS J., 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 104 P. multigr.
- ROOSE E., 1981** - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Travaux et documents de l'ORSTOM n°130, 566 P., édit. ORSTOM, Paris.

- ROOSE E., BAILLY C., PARE J., 1984 - L'érosion en zone tropicale. Réunion technique 55ème SIMA, Jeudi 8 mars 1984, 59 P.
- RUELLE P., AOUINA M.S., VAUCLIN M., VACHAUD G., 1983 - Bilan hydrique sous cultures par mesures tensiométriques neutroniques et gravimétriques. Rapport IMG, Grenoble, multigr., 70 P.
- SAMA A., 1989 - Acidification des sols sous culture. Valorisation de la dolomie de TIARA. Mémoire de fin d'études Université de Ouagadougou ISN-IDR.
- SEDOGO M.P., 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, sciences agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 198 P.
- SEGUIN et ITIER, 1983 - Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal I.R. data. Int. J. Rem. Sens. 1983 vol 4 (2) : 371-383.
- SIVAKUMAR et GNOUMOU, 1987 - Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : Burkina Faso. Bulletin d'information n° 23, édit. ICRISAT, Patancheru, Inde.
- SOME L., 1982 a - Synthèse des essais de travail du sol en Haute-Volta (période 1960-1981) IRAT/HV doc.interne.
- SOME L., 1982 b - Gestion de l'eau et intensification des cultures vivrières SABOUNA ORD du Yatenga. Mémoire de fin d'études à l'ISP option : agronomie Université de Ouagadougou.
- SOME et NICOU, 1983 - Etude de l'enracinement du blé au Sourou. Rapport IRAT/HV SOMDIAA, Ouagadougou, Haute Volta.
- SOME L., 1985 - Bilan hydrique d'une culture de cotonnier sous deux régimes d'irrigation. Mémoire D.E.A. Sciences agronomiques, option phytotechnie. USTL, Montpellier II.
- TERRIBLE M., 1978 - Végétation de la Haute Volta au millionième. Carte et notice provisoire. 40 P. Bobo Dioulasso, Haute Volta.
- TEISSIER J., 1974 - Terroir de Mogtêdo (Haute Volta). Etude morpho-pédologique en vue de la mise en valeur des terres. Agron. Trop. 29 (2) : 312-369.
- TESSIER D., PEDRO G., 1984 - Recherches sur le rôle des matériaux argileux dans l'organisation et le comportement des sols AFES, Paris, Line Jubilaire du cinquantenaire 223-234 pp.
- TURC, 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle Ann. Agron. 12 (1) : 13-50.

- UNSO (Bureau des Nations Unies pour la Région Soudano-Sahélienne), 1983** - Plan national de lutte contre la désertification. Document provisoire. République de Haute Volta, 55 P + annexes, ronéotypé.
- VACHAUD G., 1968** - Contribution à l'étude des problèmes d'écoulement en milieux poreux non saturés. Thèse de Docteur es-sciences physiques. Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble. 159 P.
- VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S., THONY J.L., 1978** - Méthodes de caractérisation hydrodynamique "in situ" d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann. Agron., 29 (1): 1-36.
- VACHAUD G., 1984** - Bilan hydrique par mesure dans le sol, à l'échelle d'une parcelle cultivée. In "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée". Actes du colloque "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme?", Dakar, Sénégal, 24-27 sept., Paris, CIRAD-CILF, P 67-84.
- VAKSMANN M., 1987** - Etude du fonctionnement des andosols et des sols andiques de l'Ile de la Réunion. Thèse de Diplôme de Doctorat, USTL, Montpellier, 170 P.
- VALENTIN C., SERPANTIE G., 1985** - Dynamique du milieu physique de la zone agropastorale de Bidi. Yatenga, Burkina Faso, ORSTOM, Ouagadougou, multigr. 12 P.
- VALET S., TRAORE S., LIDON B., 1988** - Agroclimatologie opérationnelle. Zonage par culture. résultats de la campagne 1987-1988. Commission technique spécialisée des productions vivrières et oléagineuses. Bamako (Mali), 22-26 mars 1988, 109 P. multigr. + annexes.
- VAUCLIN M., HAVERKAMP R., VACHAUD G., 1984** - Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements 2 spatial stand-point. Soil sci, 137 (3) : 141-148.
- WISCHMEIER W.H., 1959** - A rainfall erosion index for an universal soil loss equation. Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 23 : 246-249.
- WITT M.D., 1981** - Physiological studies of pearl millet and grain sorghum subjected to high temperature and moisture stress. PHD. The university of Nebraska. Lincoln, 191 P. University Microfilms International, Ann. Arbor, Michigan USA.

MEMOIRES REALISES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE RECHERCHE
"ECONOMIE DE L'EAU".

- BARRO A.**, 1988 - Contribution à l'étude des relations Eau-Sol-Plante-Machine. Mémoire de DIAT, CNEARC-ENSAM-INERA.
- DAKIO L.**, 1983 - Etude de techniques d'économie de l'eau en culture attelée et en culture motorisée. Mémoire de fin d'études ISP, Université de Ouagadougou, Haute Volta.
- KINDO S.**, 1983 - Expérimentation "travail du sol". Mémoire de fin d'études ISP, Université de Ouagadougou, Haute Volta.
- LINOSSIER I.**, 1989 - Utilisation d'un modèle de bilan hydrique pour le zonage des potentialités agricoles et la prévision des rendements. Exemple du Burkina Faso. Mémoire de D.A.A., Science du sol et bioclimatologie, ENSAM-INERA-IRAT.
- NIKIEMA S.**, 1986 - Evaluation des principaux termes du bilan hydrique à la parcelle de culture. Mémoire de fin d'études IDR, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- OUATTARA B.**, 1984 - Action des techniques de travail du sol sur le bilan hydrique et les rendements d'une culture de sorgho en fonction du type de sol. Mémoire de fin d'études ISP, Université de Ouagadougou, Haute Volta.
- OUATTARA K.**, 1989 - Etude de l'action des techniques d'économie de l'eau sur l'amélioration du bilan hydrique d'une culture de sorgho. Mémoire de fin d'études ISN-IDR, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- OUEDRAOGO M.**, 1987 - Evaluation des termes du bilan hydrique à "la parcelle à travers une culture d'arachide. Etude de son amélioration par la technique du dry-farming (cas du sorgho). Mémoire de fin d'études, Institut Polytechnique Rurale de Katibougou (Rép. du Mali). INERA, Burkina Faso.

DOCUMENTS CONSULTES.

- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M.**, 1984 - Pluies, eaux de surface. Productions végétales en Haute Volta. ORSTOM, 58 P multigr. Ouagadougou.
- AZHARI R.**, 1988 - Zonage agroclimatique du maïs sur six stations synoptiques au Togo. Mémoire de fin d'études CNEARC-ENITEF-IRAT, Montpellier.
- BALDY C.**, 1976 - Etude agrométéorologique de la région de Bobo Dioulasso (Haute Volta). AGRHYMET/Dir. Météo. Haute Volta, 90 P. multigr.

- BALDY CH., OUEDRAOGO J.P., 1976** - Note concernant l'ETP en Haute-Volta et son calcul par la méthode de Penmann. AGRHYMET/Dir. Met. Haute Volta, 13 P. multigr.
- BALDY CH., 1986** - Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides. édit. INRA, Paris, 1986.
- BOULET R., 1968** - Etude pédologique de la Haute Volta, région Centre-Nord. ORSTOM, Centre de Dakar, Hann. 349 P.
- CARBONNEL J.P., HUBERT P., 1985** - Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso. CR. Acad. Sci. Paris 301 série II (13) : 941-944.
- CHANTEREAU J., 1987** - Programme sorgho-mil-maïs. Rapport analytique 1986. Amélioration des sorghos précoces et à moyen cycle. INERA-IRAT, 44 P. multigr. Ouagadougou.
- COLLECTIF, 1987** - Evaluation et suivi de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement (ESPACE). Rapport annuel 1987. IRAT/CIRAD (France), IER/AGROMETEO (Mali), ISRA/AGROMETEO (Sénégal), DMN/AGROMETEO (Niger).
- COLLECTIF, 1989** - Atelier d'Agroclimatologie Opérationnelle pour les pays du CILSS. Niamey (Niger), 29 janv.-3 fév. 1989. Rapport de synthèse. DMN-IRAT/CIRAD-AGRHYMET.
- FOREST F., REYNIERS F.N., 1985** - Propositions de classification en termes du bilan hydrique des situations agroclimatiques de riziculture pluviale. In "Seconde conférence internationale sur le riz pluvial". Gjakarta, Indonésie, 4-7 mars 1985, IRAT, 17 P + annexes.
- LAL R., 1975** - Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control. IITA, monographie n°1, Ibadan, Nigeria, 126 P.
- LIDON B., MARANT P., QUIDEAU P., SEDOGO M., SOLA G., 1983** - Etude du ruissellement sur sol ferrugineux de la région Centre Haute Volta. Résultats de quatre années de mesures à la station de Saria. Rapport CIEH-IRAT, 66 P. multigr.
- PIOT J., MILLOGO E., 1980** - Rapport de synthèse de six années d'étude du ruissellement et de l'érosion à Linoghin (Haute Volta). CTFT/Haute Volta, 47 P. multigr.
- REYNIERS F.N., FOREST F., 1988** - Améliorer l'alimentation hydrique et son efficacité en agriculture pluviale en Afrique du sud du Sahara. In "séminaire ILRI, CTA". Harare, 25-29 avril 1988. Publication CTA, P. 107-139.
- REYNIERS F.N., STEIMETZ S., FOREST F., 1987** - Impact de l'enracinement et de la réserve en eau utile sur la productivité du riz pluvial au Brésil. In "Mémoires et Travaux de l'IRAT" n°13, P. 65-74.

- ROBELIN M., 1963** - Contribution à l'étude du comportement du maïs grain vis-à-vis de la sécheresse. In "Journées internationales de l'irrigation", AGPM. Agen, France, P. 69-76.
- ROBELIN M., 1984** - Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In "Physiologie du maïs". Communication au colloque "Physiologie du maïs" organisé par l'INRA, le CNRS et l'AGPM. Royan, France, 15-17 mars 1983, P. 445-476, INRA Versailles.
- ROOSE E., BIROT Y., 1970** - Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau Mossi (Gonsé, Haute Volta). Résultats des campagnes 1968-1969. Rapport CTFT-ORSTOM, Abidjan, 148P. multigr.
- ROOSE E., 1978** - Pédogénèse actuel d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du Plateau Mossi (Haute Volta). Gonsé, campagnes 1968 à 1974, in "Cahiers de l'ORSTOM", sér. pédol. 16 (2) : 193-223.
- ROOSE E., 1984** - Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux. Mach. Agric. Trop. 87 : 24-36.
- ROOSE E., 1989** - Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols. Influence du milieu physique et humain en région soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale. Projet de Publication n°31 du livre Réseau Zones Arides : "La diversité dans l'aridité".
- SIBAND P., 1981** - Croissance, nutrition et production du mil (Pennisetum typhoides, Hubbard et Stapf). Essai d'analyse de fonctionnement du mil en zone sahélienne. Thèse de Doctorat es. sciences, USTL, Montpellier, 302 P.
- STIGTER C.J., 1984** - Mulching as a traditional méthode of microclimate management. Arch. Mét. Geoph. Biocl., Ser. B(35) : 147-154.
- VAN STAVEREN J.P., STOOP W.A., 1986** - Adaptation aux types de terroirs des toposéquences de l'Afrique de l'Ouest de différents géotypes de sorgho par rapport aux cultivars locaux de sorgho, de mil et de maïs. Agron. Trop. 41 (3-4) : 203-217.
- VALET S., 1985** - Effets de différents modes de travail du sol sur l'amélioration des propriétés physiques, hydriques et hydrodynamiques d'un sol sablo-argileux. Conséquence sur la consommation hydrique et le rendement des cultures à Thyse. Sonkorong (Sine Saloum), ISRA-IRAT, 79 P. multigr. Montpellier.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Liste des stations étudiées.

Station	Latitude (N) ° ' "	Longitude ° ' "	Altitude (m)
Aribinda	14 14	52 0	370
Batié	9 53	2 55 0	298
Bobo-Dioulasso	11 10	4 19 0	432
Bogandé	12 59	8 0	250
Boromo	11 45	2 56 0	264
Dédougou	12 28	3 28 0	308
Diapaga	12 4	1 47 E	270
Diébougou	10 58	3 15 0	294
Dionkélé N'dorola	11 46	4 49 0	310
Djibo	14 6	1 37 0	274
Dori	14 2	2 0	288
Fada N'Gourma	12 2	22 0	292
Farako-Ba	11 6	4 20 0	405
Gampéla	12 26	1 21 0	n.a.
Gaoua	10 20	3 11 0	333
Garango	11 48	34 0	275
Gorom-Gorom	14 27	14 0	380
Houndé	11 29	3 31 0	324
Kampti	10 8	3 28 0	340
Kantchari	12 28	1 31 E	270
Kassoum	13 5	3 18 0	260
Kaya	13 6	1 5 0	313
Kombissiri	12 4	1 20 0	275

ANNEXE 1 (suite)

Station	Latitude (N) ° ' "	Longitude ° ' "	Altitude (m)
Koupéla	12 14	3 42 0	309
Léo	11 6	2 6 0	347
Manga	11 40	1 4 0	286
Markoye	14 38	4 E	295
Niangoloko	10 16	4 55 0	320
Nouna	12 44	3 52 0	280
Orodara	10 59	4 55 0	523
Ouagadougou	12 22	1 31 0	296
Ouahigouya	13 35	2 26 0	329
Ouargaye	11 32	1 E	285
Ouarkoye	12 5	3 40 0	315
Pama	11 15	42 E	230
Po	11 10	1 9 0	326
Saria	12 16	2 9 0	300
Séguénéga	13 26	1 58 0	307
Sidéradougou	10 41	4 15 0	319
Tansilla	12 25	4 23 0	430
Tenkodogo	11 46	23 0	302
Tougan	13 5	3 4 0	305
Tougouri	13 19	30 0	280
Yako	12 58	2 16 0	294
Zabré	11 10	36 0	296
Zorgo	12 15	37 0	315

ANNEXE 2 : Données granulométriques.

Profondeur cm	GRANULOMETRIE						pF Terre fine		D.A.	R.E. en mm	
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	E.G.	2,5	4,2			
	%	%	%	%	%	%					
FARAKO-BA	0 - 10	5,0	10,4	17,1	46,4	21,1	0,0	8,0	2,2	1,70	9,9
	10 - 20	8,2	12,7	16,1	43,8	19,2	0,0	9,0	3,4	1,51	18,4
	20 - 40	22,0	13,9	13,8	30,7	19,6	0,0	13,1	7,8	1,48	34,1
	40 - 60	29,0	13,0	16,4	26,7	14,8	0,0	17,7	11,9	1,55	52,1
	60 - 80	28,8	12,8	14,1	25,2	19,0	0,0	19,3	13,0	1,64	72,8
	80 - 120	28,0	13,6	15,6	24,9	17,8	0,0	18,6	12,9	1,68	111,1
NIANGOLOKO	0 - 10	2,3	1,8	3,3	8,3	84,3	22,0	4,0	0,7	1,53	3,9
	10 - 20	4,3	3,0	5,3	12,4	75,0	28,0	6,3	1,4	1,53	9,3
	20 - 40	10,5	4,1	7,8	10,0	67,7	72,0	8,9	3,5	1,85	14,9
	40 - 60	23,0	4,4	6,2	11,7	54,7	55,0	13,2	9,1	1,95	22,1
	60 - 80	30,0	5,8	5,0	7,6	64,6	35,0	13,6	10,4	1,68	29,1
	80 - 120	36,0	10,4	7,5	11,7	34,4	33,0	21,2	13,8	1,58	60,4

* : Les réserves en eau utile ont été corrigées en tenant compte du taux d'éléments grossiers.

E.G. : Eléments grossiers

D.A. : Densité apparente

R.E. : Réserve en eau cumulée

ANNEXE 2 (suite)

Profondeur cm	GRANULOMETRIE						pF Terre fine		D.A.	* R.E. en mm
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	E.G.	2,5	4,2		
	%	%	%	%	%	%				
0 - 10	10,2	7,5	23,2	17,2	41,9	20,0	11,4	4,4	1,72	9,7
10 - 20	11,5	6,7	12,9	13,7	55,3	30,0	15,6	8,7	1,72	17,9
20 - 40	14,8	7,0	12,7	14,8	50,6	28,0	19,1	10,1	2,00	40,1
40 - 60	22,2	8,4	13,1	15,1	41,2	16,0	20,7	13,9	1,89	61,5
60 - 80	24,9	11,8	16,7	16,1	30,5	13,0	20,0	14,3	1,84	79,7
80 - 100	33,6	12,8	17,9	14,1	23,1	20,0	21,7	14,8	1,91	102,3
0 - 10	15,7	8,2	27,7	27,8	27,0	2,5	9,6	3,8	1,60	8,6
10 - 20	21,9	9,1	17,0	25,1	26,9	2,9	17,3	9,9	1,60	18,4
20 - 40	34,9	7,8	21,4	14,7	21,0	4,0	15,1	8,7	1,59	39,2
40 - 60	32,8	7,4	15,1	11,8	32,9	13,5	16,2	9,4	2,07	55,0
60 - 80	15,4	6,8	13,1	13,7	51,0	40,0	15,4	8,6	2,14	67,0
80 - 100	14,6	6,2	9,1	16,3	53,8	47,0	17,6	10,3	2,09	78,8

* : Les réserves en eau utile ont été corrigées en tenant compte du taux d'éléments grossiers.

E.G. : Eléments grossiers
D.A. : Densité apparente
R.E. : Réserve en eau cumulée

Données analytiques physiques des sites
de Saria haut et Saria bas

Profondeur cm	GRANULOMETRIE						pF Terre fine		D.A.	R.E. en mm
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	E.G.	2,5	4,2		
	%	%	%	%	%	%				
0 - 10	10,7	4,2	23,3	31,2	30,5		8,4	3,5	1,43	7,0
10 - 20	23,2	3,9	16,5	26,8	29,6		12,9	6,8	1,46	15,9
20 - 40	18,9	10,2	4,1	25,5	24,3		16,8	10,3	1,32	32,9
40 - 60	33,8	7,2	19,2	17,4	22,4		18,6	11,1	1,28	51,9
60 - 80	31,7	5,9	18,7	17,5	26,2		19,0	10,9	1,58	77,3
80 - 120	15,7	6,2	13,3	17,6	47,3		15,1	8,3	1,99	131,4

E.G. : Eléments grossiers
D.A. : Densité apparente
R.E. : Réserve en eau cumulée

Données analytiques physiques du site
de Gampela

Profondeur cm	GRANULOMETRIE						pF Terre fine		D.A.	R.E. en mm
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	E.G.	2,5	4,2		
	%	%	%	%	%	%				
0 - 10	9,5	7,9	27,7	47,0	7,9	0,2	10,6	2,7	1,35	10,6
10 - 20	16,1	7,7	25,8	42,8	7,6	1,4	13,6	4,7	1,35	22,4
20 - 40	34,7	8,3	24,2	27,9	5,0	0,8	18,1	10,6	1,38	42,9
40 - 60	45,1	7,6	22,4	21,4	3,6	1,0	21,6	13,6	1,47	66,2
60 - 80	45,3	8,8	15,6	25,7	4,7	1,5	21,7	13,4	1,39	88,9
80 - 120	41,6	8,6	19,8	21,4	8,6	3,8	21,0	13,4	1,44	131,0

Données analytiques physiques du site
de To

ANNEXE 2 (suite)

Profondeur cm	GRANULOMETRIE						pF Terre fine		D.A.	* R.E. en mm	
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	* E.G.	2,5	4,2			
	%	%	%	%	%	%					
KOLBILA	0 - 10	8,3	6,3	20,4	40,2	24,8	9,4	10,7	3,2	1,54	10,5
	10 - 20	10,1	5,3	18,3	38,5	27,7	8,9	9,8	3,2	1,54	19,8
	20 - 40	25,8	4,3	12,3	33,1	24,5	29,1	13,7	7,3	1,60	34,3
	40 - 60	28,2	5,3	10,7	28,5	27,3	37,1	17,4	9,0	1,67	52,0
	60 - 80	29,0	6,8	11,2	31,0	21,9	47,7	18,7	9,6	1,87	69,5
	80 - 120	26,3	8,0	13,0	30,0	22,7	49,2	17,6	9,1	1,81	100,8
KASSOU	0 - 10	12,0	10,7	25,3	18,3	33,8	2,3	12,5	4,3	1,55	12,4
	10 - 20	15,5	10,4	18,6	18,7	36,8	3,7	12,6	5,4	1,55	23,2
	20 - 40	17,9	8,6	14,7	14,4	44,4	3,6	11,4	5,6	1,57	40,8
	40 - 60	26,8	9,6	14,9	13,5	35,3	45,4	13,9	8,1	1,60	50,9
	60 - 80	27,9	10,3	14,6	13,2	34,0	39,8	16,5	10,8	1,88	63,8
	80 - 120	20,6	8,0	10,1	13,4	47,9	41,6	19,0	12,6	1,85	91,5

* : Les réserves en eau utile ont été corrigées en tenant compte du taux d'éléments grossiers.

E.G. : Eléments grossiers

D.A. : Densité apparente

R.E. : Réserve en eau cumulée

Données analytiques physiques des sites
de Kolbila et Kassou

ANNEXE 2 (suite)

Profondeur cm	GRANULOMETRIE					pF Terre fine corrigé		D.A.	R.E. en mm	
	Argile	Limon	Sables très fins	Sables fins	Sables grossiers	2,5	4,2			
	%	%	%	%	%					
SABOUNA	0 - 10	13,5	6,1	10,6	47,1	22,7	11,0	5,4	1,50	8,4
	10 - 20	31,2	11,0	13,9	31,3	12,5	20,5	11,1	1,46	22,1
	20 - 40	31,5	9,4	11,1	32,5	14,5	21,4	12,3	1,70	53,0
	40 - 60	32,4	9,8	10,8	33,4	13,6	23,2	12,8	1,81	90,0
	60 - 80	33,2	9,9	12,3	30,9	13,6	25,3	13,3	2,49	149,8
	80 - 120	34,4	10,2	13,1	29,3	13,1	25,9	14,1	1,83	236,4
ZIGA	10 - 20	0,8	3,1	4,1	9,1	83,0	3,0	1,0	1,45	5,8
	20 - 40	1,3	3,0	3,5	7,6	84,6	3,4	1,3	1,65	12,7
	40 - 60	5,6	5,3	7,1	11,5	70,5	5,5	1,7	1,95	27,5
	60 - 80	17,0	5,2	5,0	7,6	64,6	9,5	7,3	2,14	36,9

D.A. : Densité apparente
R.E. : Réserve en eau cumulée

Données analytiques physiques des sites
de Sabouna et Ziga

**ANNEXE 3 : Données statistiques de rendements des sorghos, mils
et maïs par région.**

ex-ORD	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	MOYENNES
CENTRE	270	369	388	457	404	368	725	-	733	507	469
CENTRE-EST	213	1179	565	516	618	100	566	-	751	656	573
CENTRE-NORD	556	216	213	593	316	155	620	-	636	144	213
CENTRE-OUEST	641	483	425	732	973	425	677	-	708	296	595
EST	793	-	-	736	-	320	680	-	845	962	722
HAUTS-BASSINS	1258	1214	1229	1250	1404	1074	1211	-	1172	1068	1209
YATENGA	255	75	-	679	237	87	566	-	394	262	319
SAHEL	251	-	211	402	-	206	287	-	364	242	280
BOUGOURIBA	673	-	766	781	744	422	755	-	1033	573	718
VOLTA NOIRE	882	605	820	937	844	683	968	-	1217	1165	902
COMOE	1480	-	1134	957	1100	487	1360	-	1095	1050	1101

Rendements moyens du maïs kg/ha par région au Burkina Faso (source M.A.E.).

ex-ORD	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	MOYENNES
CENTRE	474	496	455	516	479	434	729	-	733	538	539
CENTRE-EST	454	383	482	475	505	525	562	-	751	611	527
CENTRE-NORD	417	473	373	552	394	384	537	-	636	282	450
CENTRE-OUEST	643	491	405	531	395	491	609	-	708	530	533
EST	768	615	-	421	-	595	764	-	845	691	671
HAUTS-BASSINS	763	759	767	760	784	701	742	-	1172	683	792
YATENGA	332	336	734	472	353	312	465	-	395	419	424
SAHEL	366	360	239	292	-	173	310	-	364	303	300
BOUGOURIBA	531	530	522	492	498	383	660	-	1033	613	584
VOLTA NOIRE	638	721	660	670	655	664	702	-	1217	852	753
COMOE	565	568	665	686	678	493	900	-	1095	877	734

Rendements moyens du mil en kg/ha par région au Burkina Faso (source M.A.E.).

ex-ORD	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1987/88	MOYENNE:
CENTRE	403	489	404	611	585	489	736	-	815	648	575
CENTRE-EST	465	470	554	564	295	737	800	-	786	715	614
CENTRE-NORD	574	469	310	575	404	311	550	-	619	323	459
CENTRE-OUEST	600	491	425	583	408	539	697	-	658	886	587
EST	768	793	-	421	-	581	700	-	781	916	708
HAUTS-BASSINS	1162	1108	1103	1076	1219	1081	1030	-	1048	971	1088
YATENGA	332	335	734	572	345	402	609	-	516	473	479
SAHEL	366	359	240	345	-	246	367	-	462	450	354
BOUGOURIBA	593	283	579	628	617	555	773	-	793	786	623
VOLTA NOIRE	750	858	744	765	763	779	843	-	918	701	791
COMOE	635	809	926	448	874	500	1054	-	973	896	790

Rendements moyens du sorgho en kg/ha par région au Burkina Faso (source M.A.E.).

ANNEXE 3 (suite)

ANNEXE 4 : Résultats antérieurs sur le ruissellement et l'érosion dans la parcelle 7 de Saria.

	Pluies		Sol nu travaillé		Sorgho butté		Jachère jeune		Jachère vieill	
	h (mm)	Rusa	KRAM %	KRAMX %	KRAM %	KRAMX %	KRAM %	KRAMX %	KRAM %	KRAMX %
1971	602	302	43	71	26	57	20	51	10	41
1972	724	295	35	69	10	40	5	29	0,4	2
1973	672	458	40	69	29	64	6	22	0,3	1
1974	714	512	42	71	37	65(84)	8 *	30 *	3 *	8 *

Note * Fauche et exportation des herbes des parcelles ERLO le 15/5/1974

Coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) et ruissellement maximal au cours d'une averse (KRAMX %) observés sur les parcelles d'érosion de Saria
(Source: ROOSE et al 1979)

Campagnes	Pluies		Sol nu travaillé		Sorgho butté		Jachère jeune		Jachère vieill	
	h mm	RUSA t/ha	E t/ha	K(N) 4	E t/ha	C(N) 6	E t/ha	C 8	E t/ha	C 10
	1	2	3		5		7		9	
1971	461	254	3,4	0,06	5,7	1,67	0,70	0,21	0,17	0,05
1972	724	295	13,8	0,21	3,2	0,23	0,43	0,03	0,09	0,006
1973	672	458	35,4	0,35	6,2	0,18	0,19	0,005	0,10	0,003
1974	714	512	26,8	0,23	14,3	0,53	0,72	0,027	0,34	0,013
Moyenne	643	380	19,8	0,23	7,3	0,37	0,51	0,026	0,17	0,009

Erosion observée sur les parcelles de Saria (t/ha)
(Source: ROOSE et al 1979)

ANNEXE 4 (suite)

		Pluie (P)	Ruissellement par parcelle				
			W	M.O.	B. R.	B.O	M.R.
1978	en mm	1010,0	426,2	337,0	340,8	356,6	-
	en % de P	-	42,2	33,4	33,7	35,3	-
1979	en mm	740,2	285,1	230,2	159,5	251,6	207,0
	en % de P	-	38,5	31,1	21,5	34,0	28,0
1980	en mm	704,9	259,7	213,4	176,7	245,3	210,1
	en % de P	-	36,8	30,3	25,1	34,8	29,8
1981	en mm	652,5	261,2	206,5	165,8	-	141,9
	en % de P	-	41,8	33,3	26,5	-	22,7
Moyenne en % P		-	39,8	32,0	26,7	34,7	26,8

Ruissellement moyen annuel mesuré entre 1978 et 1981

(Source: LIDON et al, 1983)

Année	Pluie en mm	Erosion par parcelle en kg/ha					
		W	M.O.	B.R.	B.O.	M.R.	
1978	1010	F	3379	2820	1674	2081	-
1979	740	F	1608	1181	677	1663	772
1980	705	F	1912	1301	1431	1900	1898
		S	3492	1613	1556	2094	1679
		T	5404	2914	2987	4074	3077

F = "terre de fond" S = "terre en suspension" T = F + S

Données sur la terre érodée (kg/Ha)

(Source: LIDON et al, 1983)

ANNEXE 5 : Détails des rendements du maïs.

		1	3	4	6	7	8	10	11	12	CV	Signif.
KIE	85	2144	5085				5090	3697	4639	5170		
	86	3222	3840				4087	3208	4085	4148		
FARAKO-BA	83	2204	4021	3968	4257	3295	4154				13,4	HS
	84	2725	4251	3173	3746	3634	3949				16,5	S
	86	1548	3720	3585		2822	3245		4117			
NIANGOLOKO	85	3504	4730	5008		4185	4544					
	86	1633	1468	2657		1455	1574					

Maïs paille kg/ha

		1	3	4	6	7	8	10	11	12	CV	Signif.
KIE	84	731	1243	868			1769	837	1875		22,0	S
	85	589	2512				2175	964	2321	1408	34,5	HS
	86	1025	1299				1843	1122	1802	1158	17,03	HS
FARAKO-BA	82	2071	2815	2628	2622	2600	2626				10,2	HS
	83	1440	2650	2234	2423	2173	2497				17,2	HS
	84	2629	4344	3104	3696	3795	4139				21,9	S
	86	1289	2167	1502		1362	1724		1878		31,6	NS
NIANGOLOKO	84	2592	2904	2683		2963	2992				16,8	NS
	85	2269	2903	2952		3086	3446				12,4	NS
	86	1363	1377	1992		1442	1466				21,8	S

Maïs grain kg/ha

ANNEXE 6 : Composantes du rendement du maïs.

		1	3	4	6	7	8	11
FARAKO-BA	83	146,4	164,9	151,6	153,6	150,7	163,9	
	84	232,0	250,0	223,0	245,0	240,0	243,0	
	86	213,5	220,2	191,1		193,9	203,1	202,3
NIANGOLOKO	84	203,5	222,3	206,8		215,8	221,6	
	85	274,0	276,0	288,0		287,0	293,0	
	86	186,6	185,7	199,6		188,4	193,0	

Maïs - Poids de 1000 grains

		1	3	4	6	7	8	10	11	12
KIE	84	1,09	1,17	1,27			1,32	1,22	1,34	
	85	0,65	1,21				1,06	0,84	1,04	0,79
FARAKO-BA	82	1,69	1,67	1,64	1,55	1,69	1,55			
	83	0,72	0,85	0,81	0,80	0,79	0,85			
	84	0,60	0,90	0,88	0,90	0,95	0,93			
	86	1,07	1,43	1,41		1,41	1,49		1,50	
NIANGOLOKO	85	1,43	1,70	1,44		1,60	1,65			
	86	1,48	1,48	1,58		1,48	1,44			

ANNEXE 6 (suite)

		1	3	4	6	7	8	10	11	12
KIE	84	30,5	42,1	38,0			53,3	29,8	52,3	
	85	47,8	88,3				89,1	35,8	86,3	76,8
FARAKO-BA	82	37,3	49,1	43,5	47,6	46,7	47,7			
	83	30,6	52,2	40,7	44,3	46,9	50,4			
	84	68,0	99,0	81,0	90,0	86,0	94,0			
	86	39,9	49,0	34,3		31,6	37,9		40,7	
NIANGOLOKO	86	53,8	56,9	62,3		61,5	64,3			
	85	51,0	56,0	81,9		78,6	82,0			
	86	29,9	30,4	40,9		31,7	33,3			

Maïs - Poids de grain par épis

ANNEXE 7 : Résultats détaillés sur les rendements du sorgho.

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12	CV	Signif.
KOLBILA	84	288	-	401	365		531			611		24,3	HS
TO	84	876	-	977	1004		1219		1257	1461		13,2	S
TO	85	890	-	1119	-		1494		1336	1758	2045	17,2	HS
TO	86	553	-	626	-		-	593	751	829	972	4,8	HS
SARIA HAUT	82	1585	1475	2196	1550		2214		1661			19,6	HS
	83	1227	1005	1667	1406		1528		1204			17,5	HS
	84	523	-	1003	1294		1337		959	1410		32,0	S
	86	2412	-	3376	-		3370	3387	2392	2968		14,3	HS
SARIA BAS	82	1844	1635	2036	1551	1807	2228					22,1	NS
	83	1351	1578	2053	2043	2193	2330					17,4	HS
	84	259	-	706	1378	1334	1790			1561		19,4	S
	86	1989	-	2264	-	-	3165	2526		3211	3343	18,7	HS
GAMPELA	82	998	1115	1359	1328	1397	1664					18,3	HS
	83	1863	-	2072	2002	2238	2457	2036				12,0	S
	84	109	-	2381	2151	2471	2594			1683		24,1	HS
	86	2823	-	3082	-	-	3770	3080		3818	3283	12,4	HS
KASSOU	84	698	-	774	815	-	825			884		19,0	NS
	85	469	-	732	-	-	900			756	824	22,3	S

Sorgho grain kg/ha. Résultats détaillés

ANNEXE 7 (suite)

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12	CV	Signif.
TO	84	5203		7703	7456		6504		5907	6472		13,2	S
TO	85	2641		3313	-		3595		3614	3417	4013	23,4	NS
TO	86	1222		1635	-		-	2272	2572	2932	2685	15,6	HS
SARIA HAUT	82	4780	4770	6950	5300		7180		5720			14,3	HS
	83	3159	2703	4530	4324		3852		3452			16,5	HS
	84	4084		4840	4360		4767		3997	4520		10,1	S
	86	4937		6305	-		6497	6220	5105	6392		11,6	HS
SARIA BAS	82	5650	5240	7020	5360	6160	6900					13,0	S
	83	3929	4177	5116	5568	5545	5817					18,6	HS
	84	2078		2718	4099	3677	4491			3445		21,9	S
	86	3433		4338	-	-	5410	5195		7111	7693	16,1	HS
GAMPELA	82	5230	5120	6870	6880	7470	6950					19,0	HS
	83	12078		14172	13576	13953	15494	14128				14,3	NS
	84	3798		10026	9278	10172	10135			7696		21,3	HS

Sorgho paille kg/ha. Résultats détaillés

ANNEXE 8 : Détails des composantes du rendement du sorgho.

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12
KOLBILA	84	16279		17006	16860		17442			20349	
TO	84	23255		25436	22965		27807		25291	22965	
SARIA HAUT	82	28780	30230	30520	29360		30380		30090		
	83	29796	30378	30378	31250		31250		29942		
	84	29796		31105	30233		30959		29506	30523	
	86	30038		30644			31128	30814	29142	30692	
SARIA BAS	82	29505	29215	30230	28490	29215	29940				
	83	21802	26889	29360	28779	27470	27616				
	84	25581		25145	27035	26017	27471			24855	
	86	27688		29142			29541	29832		29614	30414
GAMPELA	82	29215	28925	29360	30375	29940	29360				
	83	20605		28198	27326	28052	28488	26890			
	84	3377		28461	23237	26270	29270			28542	
	86	29360		29190			28536	28754		27398	
KASSOU	84	30232		29506	30087		29360			30087	
	85	17442		26599			26599			28779	28052

Sorgho - Nombre de poquets récoltés

ANNEXE 8 (suite)

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12
KOLBILA	84	1,66		1,92	2,21		2,03			2,01	
TO	84	1,96		2,26	1,83		2,09		1,76	1,99	
SARIA HAUT	82	2,25	2,56	2,59	1,91		2,40		2,53		
	83	2,40	2,40	2,60	2,90		2,60		2,50		
	84	1,54		1,86	1,96		2,35		1,75	2,35	
	86	2,34		2,77			2,79	2,60	2,60	2,66	
SARIA BAS	82	2,77	2,30	2,77	2,60	2,46	2,67				
	83	2,20	2,20	3,00	2,70	2,70	3,10				
	84	0,96		1,02	1,43	1,18	1,64			1,74	
	86	1,96		2,19			2,30	2,32		2,46	2,53
GAMPELA	82	2,08	2,14	2,26	2,23	2,26	2,40				
	83	1,96		1,91	2,02	2,09	2,21	2,10			
	84	1,80		2,50	2,60	2,60	2,60			2,30	
	86	2,02		2,16			2,08	2,05		2,13	1,57
KASSOU	84	2,23		2,41	2,81		2,35			2,29	
	85	2,66		1,94			2,28			2,07	2,21

Sorgho - Nombre de panicules par touffe

ANNEXE 8 (suite)

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12
KOLBILA	84	10,60		12,30	9,80		14,90			14,90	
TO	84	19,20		17,00	23,80		20,70		28,20	31,90	
SARIA HAUT	82	24,45	19,04	27,82	27,70		30,34		21,81		
	83	12,70	10,10	15,90	15,40		13,80		11,30		
	84	11,40		17,30	21,70		18,30		18,50	19,60	
	86	34,32		39,73			38,78	42,28	31,55	36,39	
SARIA BAS	82	22,57	24,30	24,32	20,96	25,17	27,87				
	83	27,50	27,60	22,60	26,20	31,80	29,80				
	84	10,50		27,50	35,60	43,30	41,90			37,00	
	86	36,57		35,54			44,94	36,45		44,12	43,89
GAMPELA	82	16,30	17,50	18,90	16,30	20,00	21,80				
	83	36,20		38,40	36,30	38,10	39,00	36,10			
	84	17,90		33,70	32,90	33,70	35,90			25,80	
	86	47,60		49,08			63,42	52,19		66,00	76,37
KASSOU	84	10,40		10,90	9,70		12,00			12,80	
	85	10,00		14,10			14,80			12,70	13,30

Sorgho - Poids de grain par panicule en g.

ANNEXE 8 (suite)

		1	2	3	4	7	8	9	10	11	12
SARIA HAUT	82	19,40	19,60	21,40	19,70		21,20		21,00		
	83	20,30	19,20	21,10	20,40		20,50		19,80		
	86	20,65		22,05			22,97	22,58	19,82	22,70	
SARIA BAS	82	24,30	24,30	24,20	23,10	24,20	24,80				
	83	20,60	21,10	22,20	22,00	22,00	22,70				
	86	18,43		19,75			20,75	19,57		21,03	22,02
GAMPELA	84	15,80		20,60	20,40	20,00	20,50			16,70	
	86	23,62		27,27			29,78	26,92		30,70	30,80

Sorgho - Poids de 1000 grains

ANNEXE 9 : Détails des rendements en grain et paille du mil.

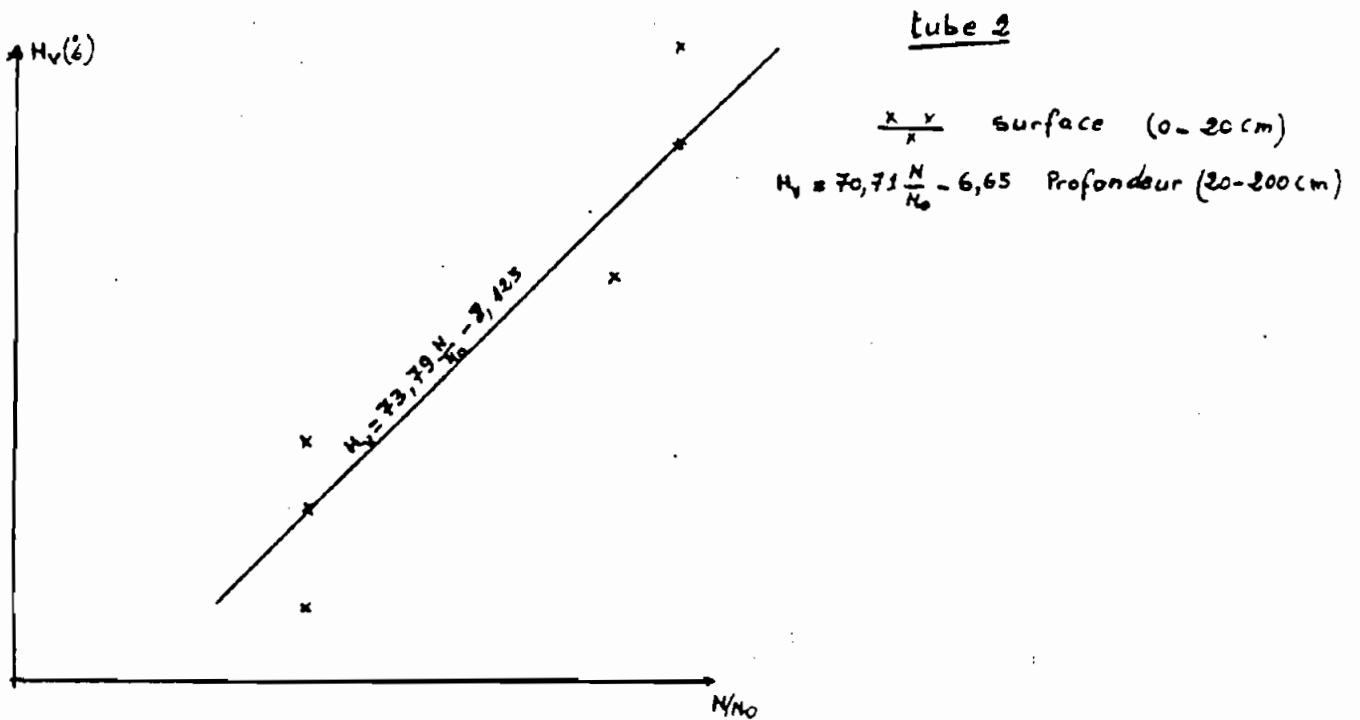
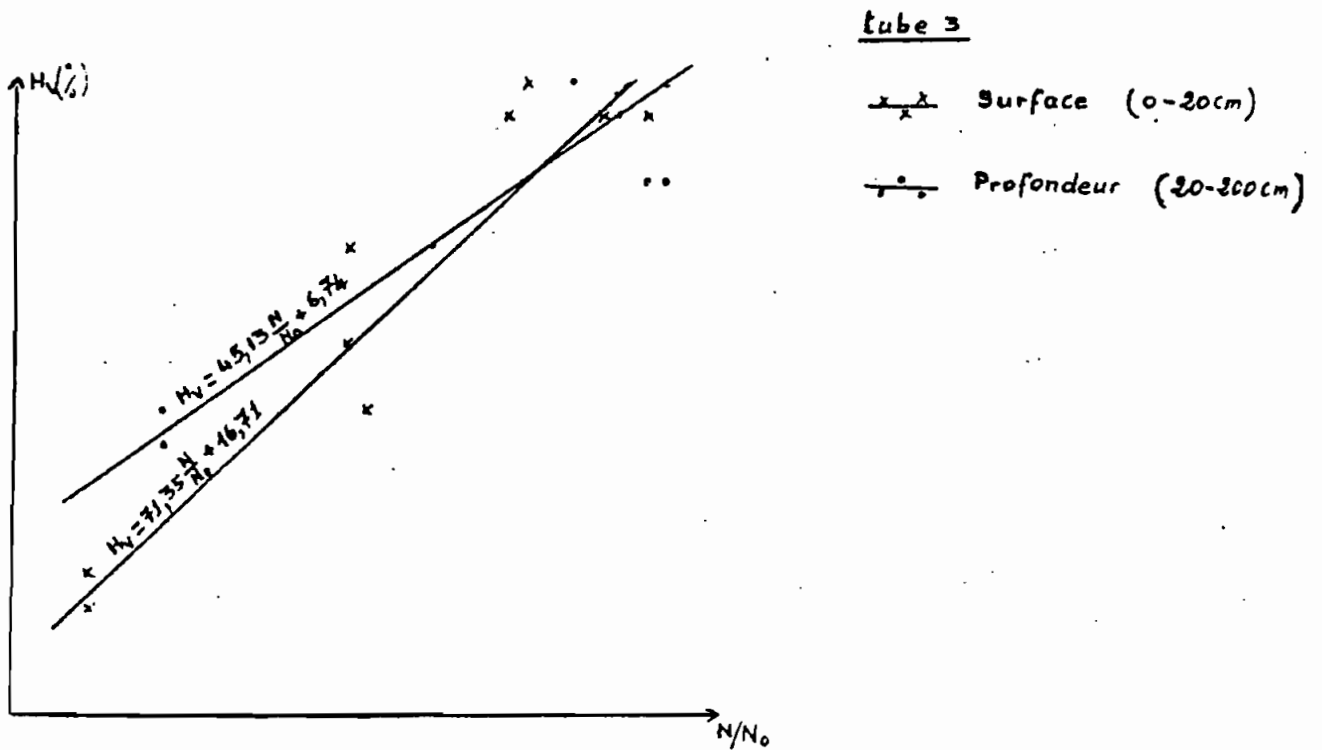
	1	3	4	5	9	10	11	12	CV	Signification
Sabouna 1982	1033	1378	1267	1255	1099		1314		21,7	NS
Ziga 1984	69	130	258		346	348	456		31,6	HS
Ziga 1985	888	1107			1162	1133	1618	1206	17,4	S
Ziga 1986	955	1321			1300	1562	1566	1295	16,2	HS
Moyenne	737	984			977		1239			
%	100	134			133		168			

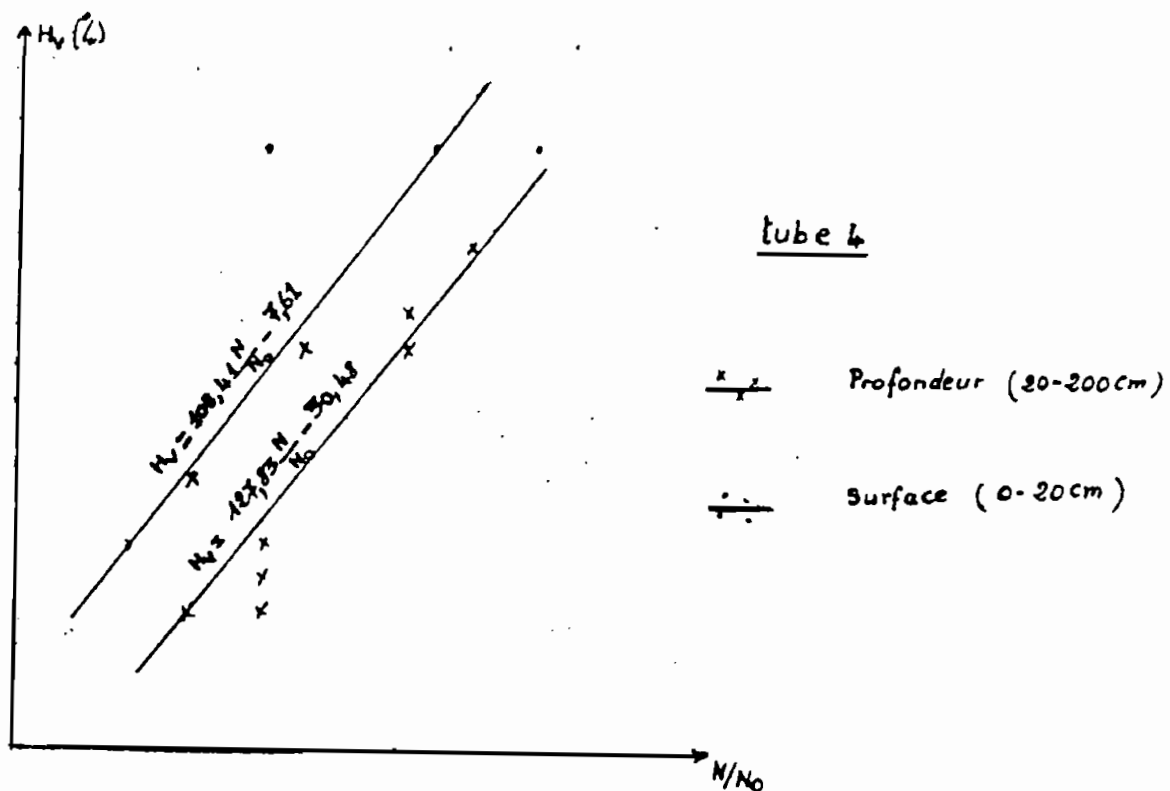
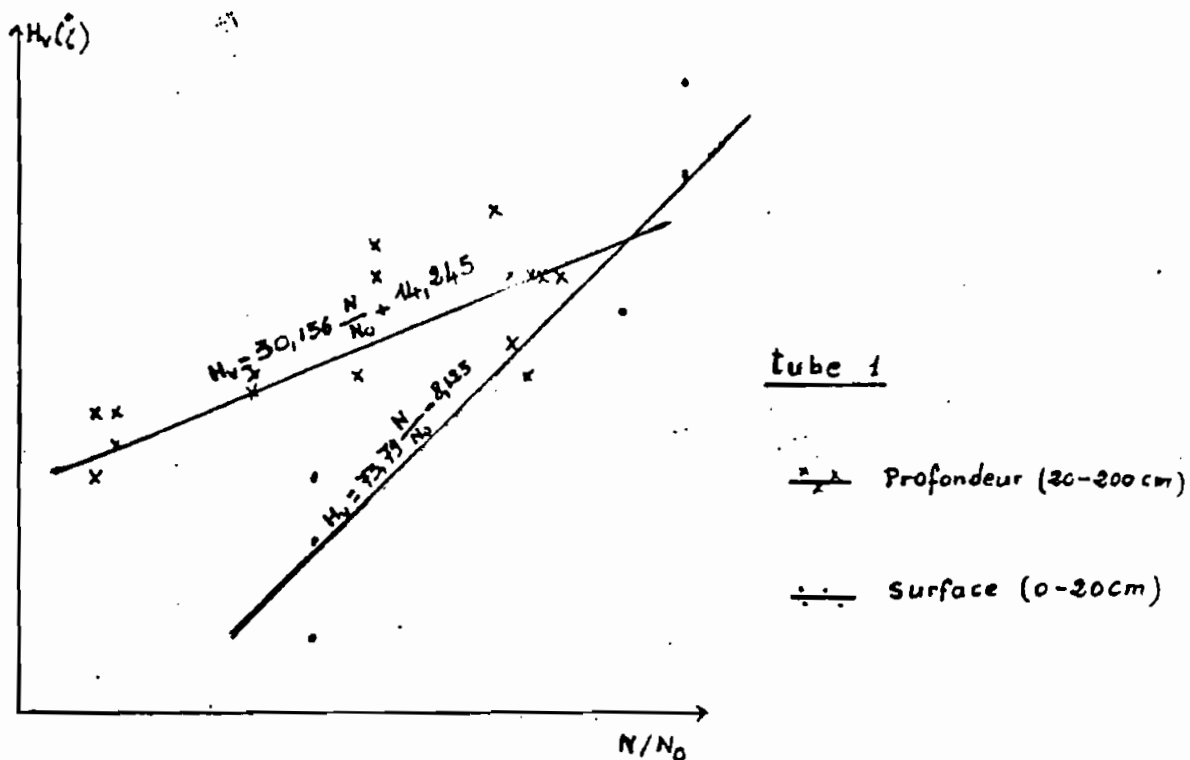
Tableau 15 : Mil pailles kg/ha

	1	3	4	5	9	10	11	12	CV	Signification
Sabouna 1983	1578	2953	2631		2562	3156	3156		25,6	S
Ziga 1984	663	884	1526		1527	1587	2107		22,1	HS
Ziga 1985	1993	4245			3173	3010	4831	4258	21,3	HS
Ziga 1986	2531	3670			3033	4029	4191	3408	14,0	HS
Moyenne	1692	2938			2574	2946	3571			
%	100	174			152	174	211			

Mil grain kg/ha

ANNEXE 10 : Exemples de courbes d'étalonnage de la sonde SOLO 25
a : méthode gravimétrique "in situ"



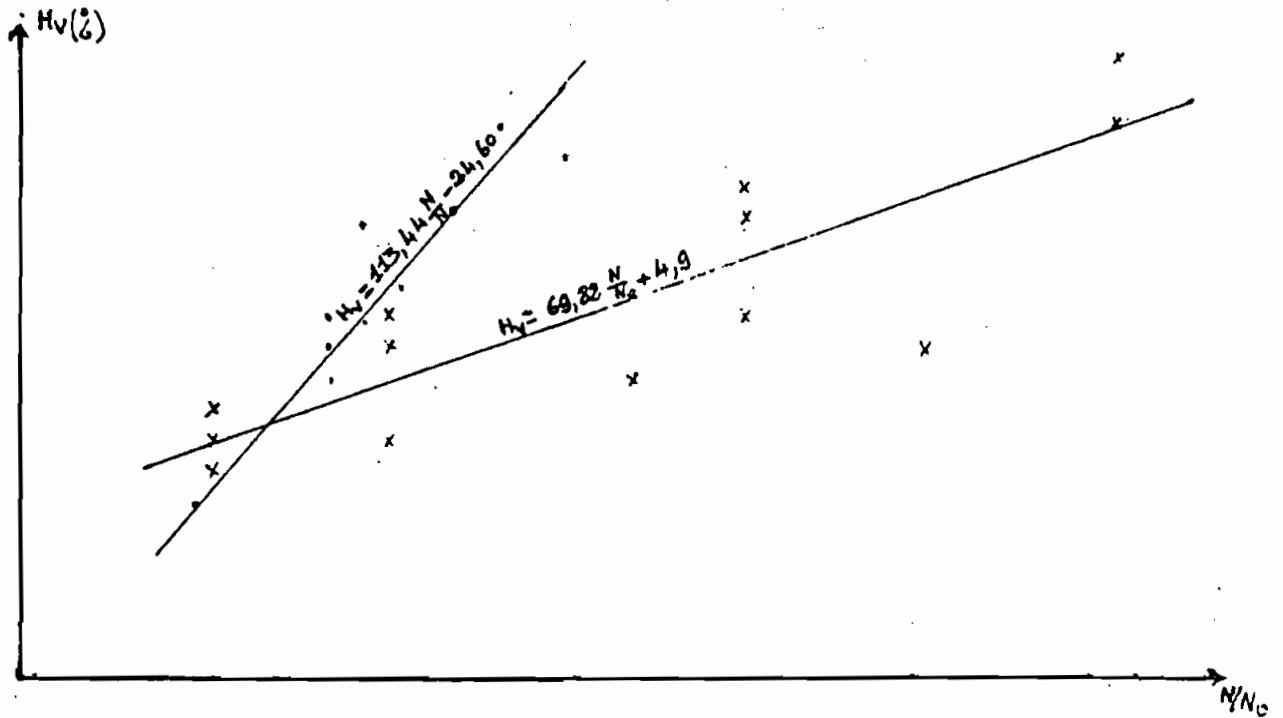


Etalonnage de la sonde SOLO 25 en P15

tube 10

$\frac{\bullet}{\bullet}$ Profondeur (40-200cm)

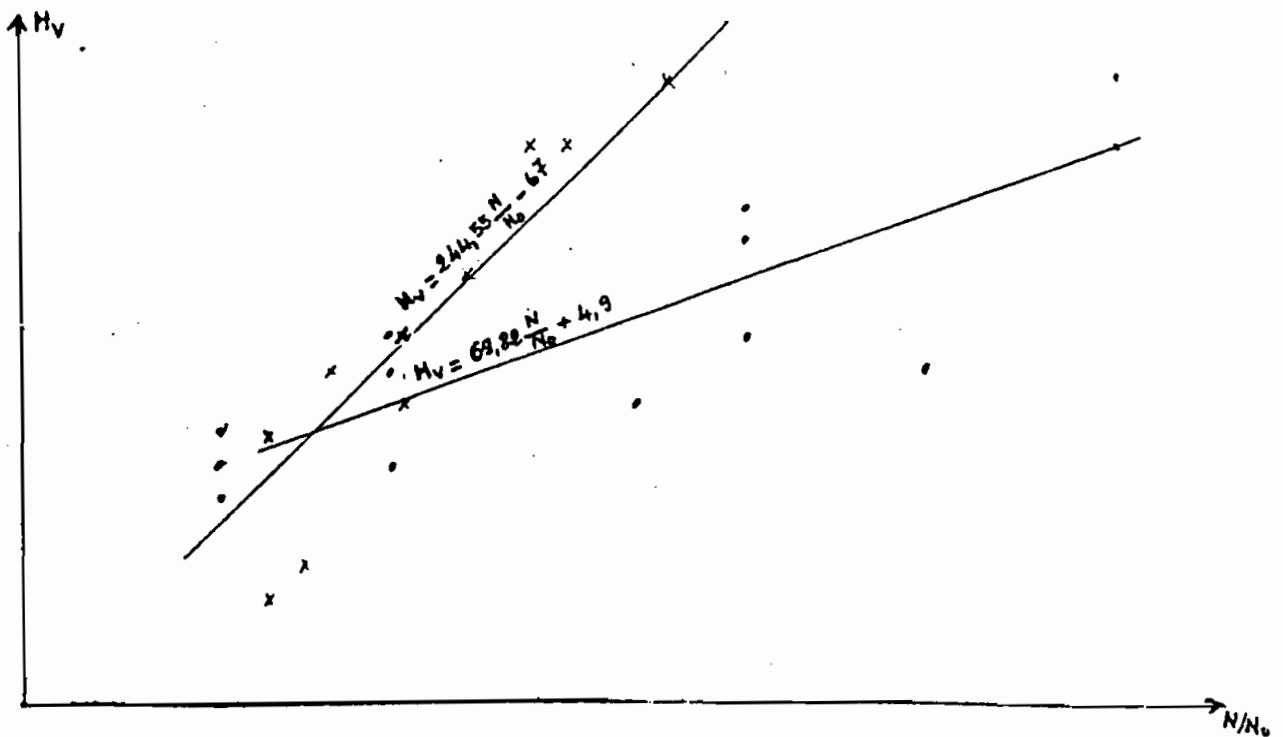
$\frac{x}{x}$ Surface (0-40cm)



tube 11

$\frac{\bullet}{\bullet}$ surface (0-40cm)

$\frac{x}{x}$ Profondeur (40-200cm)



b : methode laboratoire CADARACHE.

ANALYSE CADARACHE 1987

EQUATIONS D ETALONNAGE DU SOL : CEEMAT MONTPEL 86-33 HORIZON = 0 - 20 cm

ETALONNAGE POUR SONDE : TYPESOLO

PARAMETRES D ETALONNAGE	ABSORPTION EN MM2/DGR	0.412
	DIFFUSION EN MM2/GR	19.710

RESULTAT : (N = COMPTAGE, HV = HUMIDITE VOLUMIQUE EN POUR CENT, EXEMPLE HV=20 SIGNIFIE 20%)

$$N = (2.73 DS + 9.72) HV + 103.35 DS - 86.99$$

CAS PARTICULIERS A DENSITE SECHE DS CONSTANTE :

POUR DS = 1.30	N = 13.3 HV + 47.	OU BIEN	HV = 0.075 N - 3.6
POUR DS = 1.50	N = 13.8 HV + 68.	OU BIEN	HV = 0.072 N - 4.9
POUR DS = 1.70	N = 14.4 HV + 89.	OU BIEN	HV = 0.070 N - 6.2

EQUATIONS D ETALONNAGE DU SOL : CEEMAT MONTPEL 86-34 HORIZON = 20 - 80 cm

ETALONNAGE POUR SONDE : TYPESOLO

PARAMETRES D ETALONNAGE	ABSORPTION EN MM2/DGR	0.483
	DIFFUSION EN MM2/GR	25.560

RESULTAT : (N = COMPTAGE, HV = HUMIDITE VOLUMIQUE EN POUR CENT, EXEMPLE HV=20 SIGNIFIE 20%)

$$N = (2.20 DS + 10.24) HV + 137.73 DS - 107.97$$

CAS PARTICULIERS A DENSITE SECHE DS CONSTANTE :

POUR DS = 1.30	N = 13.1 HV + 71.	OU BIEN	HV = 0.076 N - 5.4
POUR DS = 1.50	N = 13.5 HV + 99.	OU BIEN	HV = 0.074 N - 7.3
POUR DS = 1.70	N = 14.0 HV + 126.	OU BIEN	HV = 0.071 N - 9.0

CES RESULTATS CORRESPONDENT A L EMPLOI D UNE SONDE A NEUTRONS THEORIQUE QUI UTILISERAIT UN TUBAGE EN ALUMINIUM DE DIAMETRE EXTERIEUR 45 MM , ET DONNERAIT UNE MESURE N = 1000 DANS UN FUT DE 200 LITRES REMPLI D EAU .
L UTILISATEUR DOIT TENIR COMPTE DE LA VALEUR EAU DE SA SONDE ET DE LA NATURE DES TUBAGES EMPLOYES

ANNEXE 10 b (suite)

ANALYSE CADARACHE 1967

EQUATIONS D ETALONNAGE DU SOL : CEEMAT MONTPEL 86-35 HORIZON = 80 - 200 cm

ETALONNAGE POUR SONNE : TYPESOLO

PARAMETRES D ETALONNAGE ABSORPTION EN MM2/DGR 0.974
DIFFUSION EN MM2/GR 38.960

RESULTAT : (N = COMPTAGE, HV = HUMIDITE VOLUMIQUE EN POUR CENT, EXEMPLE HV=20 SIGNIFIE 20%)

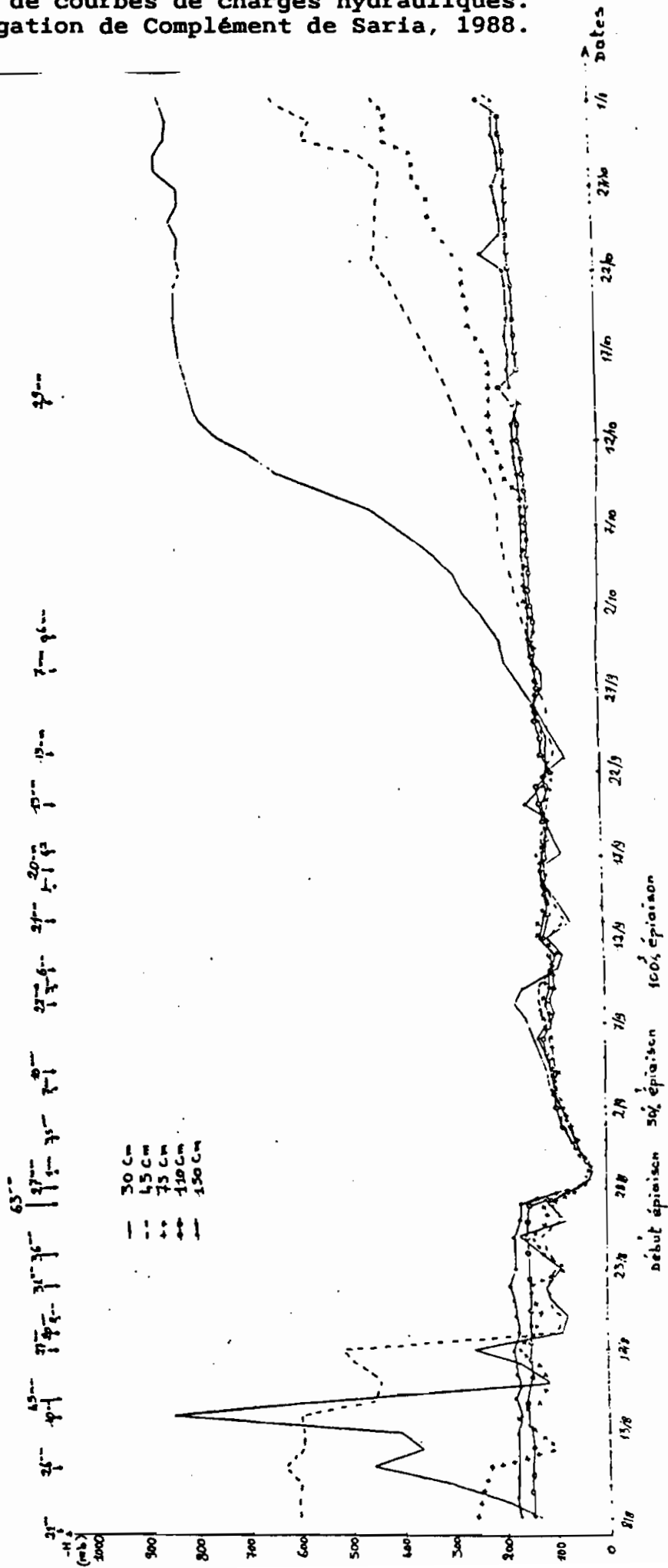
$$N = (0.38 DS + 10.48) HV + 154.41 DS - 109.93$$

CAS PARTICULIERS A DENSITE SECHE DS CONSTANTE :

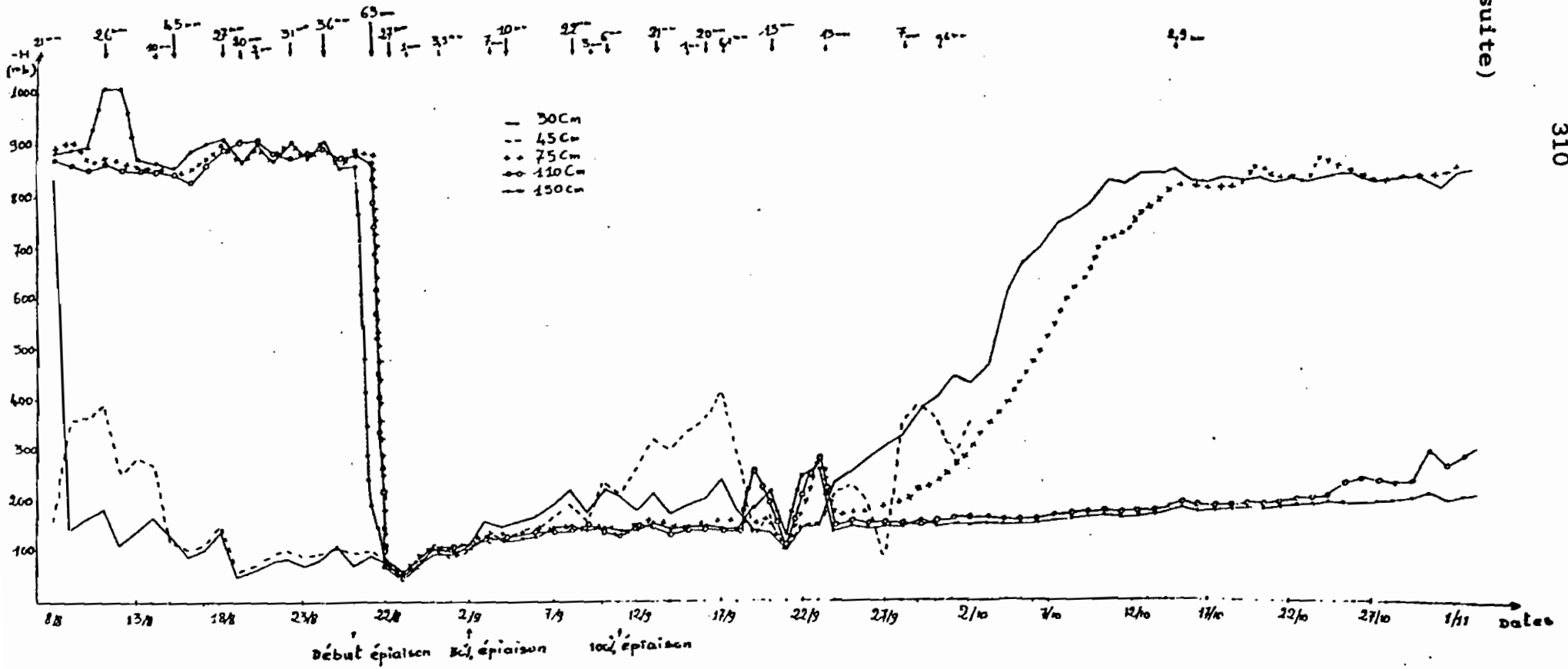
POUR DS = 1.30	N = 11.0 HV + 91.	OU BIEN	HV = 0.091 N - 83
POUR DS = 1.50	N = 11.0 HV + 122.	OU BIEN	HV = 0.091 N - 110
POUR DS = 1.70	N = 11.1 HV + 153.	OU BIEN	HV = 0.090 N - 137

CES RESULTATS CORRESPONDENT A L EMPLOI D UNE SONE A NEUTRONS THEORIQUE QUI UTILISERAIT UN TUBAGE EN ALUMINIUM DE DIAMETRE EXTERIEUR 45 MM , ET DONNERAIT UNE MESURE N = 1000 DANS UN FUT DE 200 LITRES REMPLI D EAU .
L UTILISATEUR DOIT TENIR COMPTE DE LA VALEUR EAU DE SA SONE ET DE LA NATURE DES TUBAGES EMPLOYES

ANNEXE 11 : Exemples de courbes de charges hydrauliques.
Essai Irrigation de Complément de Saria, 1988.

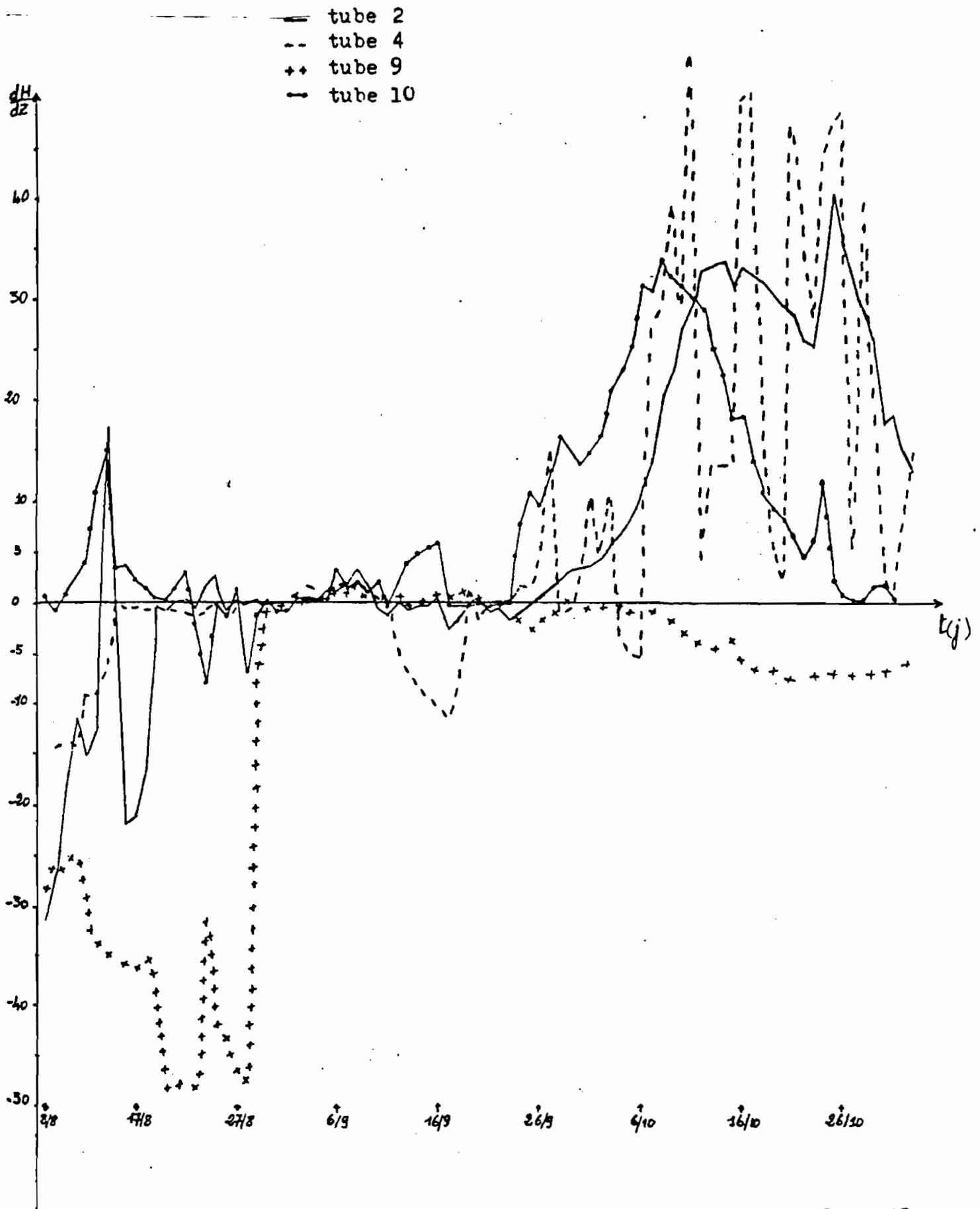


Evolution des profils de charges hydrauliques sur le labour - tube 4



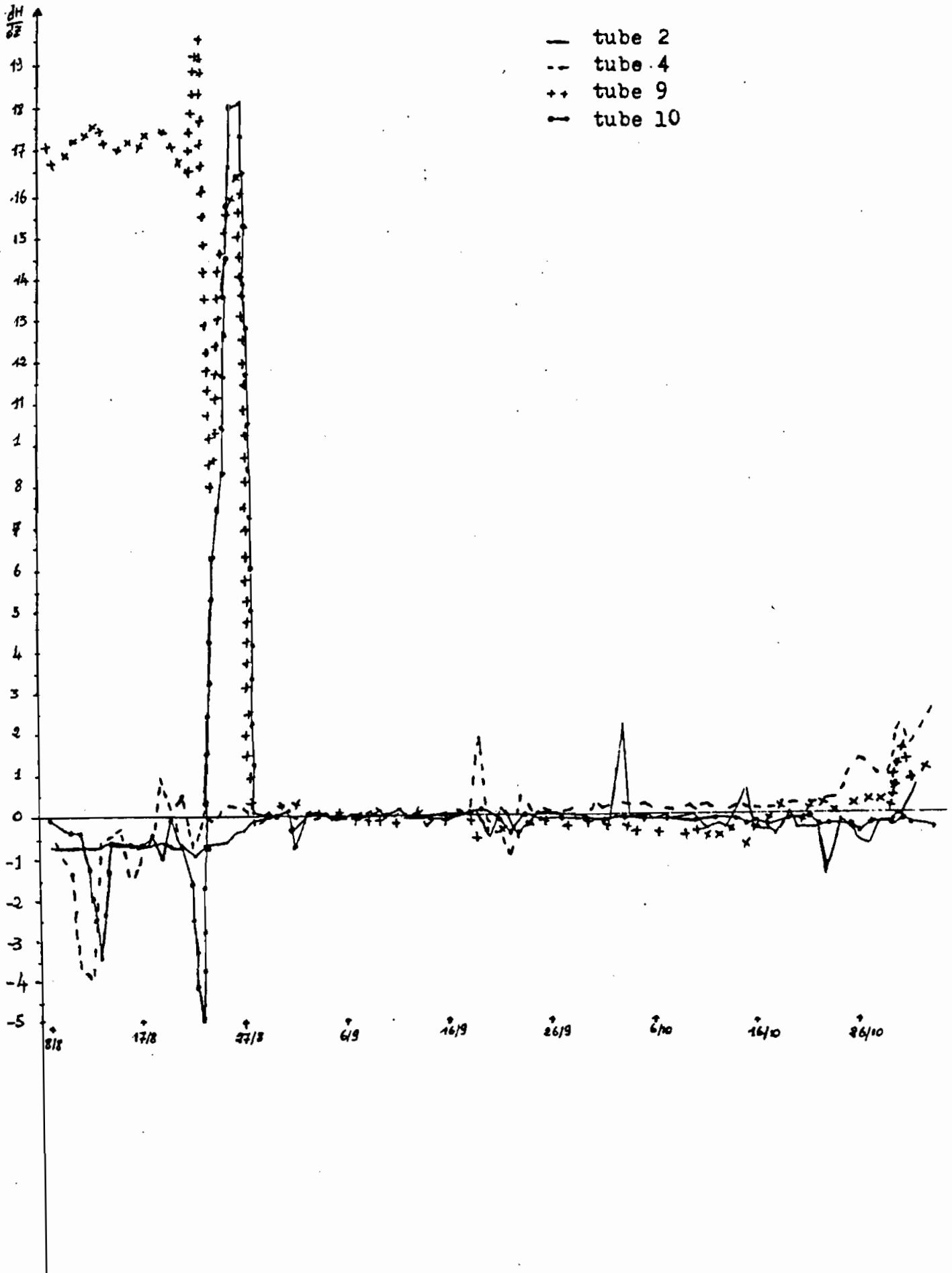
Evolution des profils de charges hydrauliques sur le témoin - tube 2

ANNEXE 11 (suite)



Evolution des gradients de charges entre les cotes 30 et 45 cm

ANNEXE 11 (suite)



Evolution des gradients de charges entre les cotes 110 et 1

LISTE DES CARTES

CHAPITRE 1

Carte n°1 : Stations prises en compte dans l'étude	P 17
Carte n°2 : Régions climatiques du Burkina Faso	P 17
Carte n°3 : Variation des isohyètes moyennes annuelles	P 18
Carte n°4 : Pluviométrie annuelle atteinte ou dépassée 8/10 ans.	P 18
Carte n°5 : Nombre moyen de jours de pluies (d'après Baldy, 1980). (n) nombre moyen de jours de pluie pour la période 1970-1987.	P 27
Carte n°6 : Isohyètes des pluies journalières maximales annuelles en mm, de fréquence décennale, d'après J.P. LAHAYE, 1980. (loi de GUMBEL)	P 29
Carte n°7 : Isohyètes des pluies journalières maximales annuelles en mm, de fréquence centennale, d'après J.P. LAHAYE 1980. (loi de GUMBEL)	P 29
Carte n°8 : Les sols du Burkina Faso	P 41
Carte n°9 : Dates les plus précoces favorables à la préparation du sol, fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm	P 47
Carte n°10 : Dates les plus précoces favorables aux semis fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm	P 47
Carte n°11 : Carte simplifiée du début des dates favorables aux semis (OUATTARA et al, 1982)	P 50
Carte n°12 : Fin de l'hivernage utile observé, fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm	P 51
Carte n°13 : Durée optimale du cycle de culture, fréquence 8/10 ans, RU = 100 mm	P 51

CHAPITRE 3

Carte n°14 : Indices des rendements espérés du sorgho. Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces	P 102
Carte n°15 : Indices des rendements espérés du sorgho Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis tardifs	P 102
Carte n°16 : Indices des rendements espérés du sorgho Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables	P 103

Carte n°17 : Indices des rendements espérés du sorgho Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables	P 103
Carte n°18 : Indices des rendements espérés du sorgho Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables	P 104
Carte n°19 : Indices des rendements espérés du maïs Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces	P 113
Carte n°20 : Indices des rendements espérés du maïs Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm semis Tardifs	P 113
Carte n°21 : Indices des rendements espérés du maïs Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables	P 114
Carte n°22 : Indices des rendements espérés du maïs Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables	P 114
Carte n°23 : Indices des rendements espérés du maïs Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables	P 115
Carte n°24 : Indices des rendements espérés du mil Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis précoces	P 115
Carte n°25 : Indices des rendements espérés du mil Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis tardifs	P 122
Carte n°26 : Indices des rendements espérés du mil Fréquence 8/10 ans, RUR 100 mm, semis aux dates favorables	P 122
Carte n°27 : Indices des rendements espérés du mil Fréquence 8/10 ans, RUR 50 mm, semis aux dates favorables	P 123
Carte n°28 : Indices des rendements espérés du mil Fréquence 8/10 ans, RUR 150 mm, semis aux dates favorables	P 123

CHAPITRE 4

Carte n° 29 : Répartition des sites d'expérimentation.	P 127
--	-------

CONCLUSION GENERALE

Carte n° 30 : Indice de végétation normalisé, situation au 30/09/89 (source : Imagerie NOAA, Centre AGRHYMET).	P 266
Carte n° 31 : Densités de population par arrondissement au Burkina Faso (source MIETTON, 1988)	P 267

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

- Fig. 11-1 : Tendance des précipitations annuelles. Moyennes mobiles annuelles à Dori et Ouahigouya P 20
- Fig. 11-2 : Moyennes mobiles annuelles à Pô et Tiébélé P 21
- Fig. 11-3 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie. Station de Bobo Dioulasso P 22
- Fig. 11-4 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie. Station de Fada n'Gourma P 22
- Fig. 11-5 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie. Station de Ouagadougou P 23
- Fig. 11-6 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie. Station de Ouahigouha P 23
- Fig. 11-7 : Comparaison des moyennes décadaires de la pluviométrie. Station de Dori P 24
- Fig. 11-8 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de l'insolation pour la période 1970-1987 P 32
- Fig. 11-9 : Variations des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement global pour la période 1970-1987 P 32
- Fig. 11-10 : Variations des valeurs moyennes mensuelles des températures maximales et minimales pour la période 1970-1987 P 34
- Fig. 11-11 : Evolutions des humidités moyennes de l'air pour la période 1970-1987 (humidité mesurée à 6 h et 12 h) P 34
- Fig. 11-12 : Roses des vents pour quatre stations du Burkina P 36
- Fig. 11-13 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent pour la période 1970-1987 (moyenne des 8 observations journalières) P 36
- Fig. 11-14 : Variations des valeurs moyennes mensuelles de l'évaporations du Bac classa A pour la période 1970-1987 P 40

CHAPITRE 2

- Fig. 12-1 : Estimation de la superficie totale du pays cultivée en sorgho, mil et maïs (données MAE) P 56
- Fig. 12-2 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD des Hauts Bassins (données MAE) P 56
- Fig. 12-3 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD du Centre (données MAE) P 57

- Fig. 12-4 : Estimation des superficies cultivées dans l'ex-ORD du Yatenga (données MAE) P 57
- Fig. 12-5 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD des Hauts-Bassins (données MAE) P 59
- Fig. 12-6 : Rendements mesurés dans les parcelles en culture continue de maïs de l'essai entretien de la fertilité de Farako-Ba (Source SAMA, 1989) P 59
- Fig. 12-7 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD du Centre (données MAE). P 61
- Fig. 12-8 : Rendements mesurés dans les parcelles en culture continue de sorgho de l'essai entretien de la fertilité de Saria. P 61
- Fig. 12-9 : Estimation des rendements moyens dans l'ex-ORD du Yatenga (données MAE). P 63
- Fig. 12-10: Estimations des productions annuelles du pays (Source INSD et MAE). P 64
- Fig. 12-11: Estimations des productions totales en sorgho, mil et maïs et des besoins en céréales du pays (Source INSD et MAE). P 64

CHAPITRE 3

- Fig. 23-1 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Bobo Dioulasso P 87
- Fig. 23-2 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho Bobo Dioulasso P 87
- Fig. 23-3 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Niangoloko P 88
- Fig. 23-4 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Niangoloko P 88
- Fig. 23-5 : Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Gaoua P 89
- Fig. 23-6 : Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Gaoua P 89
- Fig. 23-7 : Indices de rendement espéré du sorgho - Bobo Dioulasso P 90
- Fig. 23-8 : Indices de rendement espéré du sorgho Niangoloko P 90
- Fig. 23-9 : Indices de rendement espéré du sorgho - Gaoua P 91
- Fig. 23-10: Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Saria P 94

Fig. 23-11: Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Saria	P 94
Fig. 23-12: Indices de satisfaction des besoins en eau au début d'épiaison du sorgho - Fada n'Gourma	P 95
Fig. 23-13: Indices de satisfaction des besoins en eau au stade floraison du sorgho - Fada n'Gourma	P 95
Fig. 23-14: Indices de rendement espéré du sorgho - Saria	P 96
Fig. 23-15: Indices de rendement espéré du sorgho - Fada n'Gourma	P 96
Fig. 23-16: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du sorgho Ouahigouya	P 98
Fig. 23-17: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du sorgho - Bogande	P 98
Fig. 23-18: Indices de rendement espéré du sorgho Ouahigouya	P 99
Fig. 23-19: Indices de rendement espéré du sorgho - Bogande	P 99
Fig. 23-20: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs, Niangoloko	P 106
Fig. 23-21: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs - Houndé	P 107
Fig. 23-22: Indices de rendement espéré du maïs, Niangoloko	P 107
Fig. 23-23: Indices de rendement espéré du maïs - Houndé	P 108
Fig. 23-24: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs 90 jours Zone nord-soudanienne	P 109
Fig. 23-25: Indices de rendement espéré du maïs 90 jours Zone nord-soudanienne	P 110
Fig. 23-26: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du maïs 90 jours Zone sahélienne	P 110
Fig. 23-27: Indices de rendement espéré du maïs 90 jours Zone sahélienne	P 111
Fig. 23-28: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du mil 120 jours Zone sud-soudanienne	P 119
Fig. 23-29: Indices de rendement espéré du mil 120 jours Zone sud-soudanienne	P 119
Fig. 23-30: Indices de satisfaction des besoins en eau aux phases critiques (FL1, FL2) du mil 90 jours Zone nord-soudanienne	P 120

- Fig. 23-31: Indices de rendement espéré du mil 90 jours
Zone nord-soudanienne P 120
- Fig. 23-32: Indices de satisfaction des besoins en eau aux
phases critiques (FL1, FL2) du mil 90 jours
Zone sahélienne P 121
- Fig. 23-33: Indices de rendement espéré du mil 90 jours
Zone sahélienne P 121

CHAPITRE 4

- Fig. 24-1 : Schéma de la toposéquence des sols de Saria. P 133
- Fig. 24-2 : Variations des pluviométries annuelles des sites
d'expérimentation (1984 à 1986). P 140
- Fig. 24-3 : Répartition spatiale de 4 pluies de début d'hivernage
sur la station de Saria. P 145
- Fig. 24-4 : Répartition spatiale de 4 pluies du milieu et de fin
d'hivernage sur la station de Saria. P 146
- Fig. 24-5 : Répartition spatiale des totaux pluviométriques
enregistrés durant le mois de Juin sur la station
de Saria. P 148
- Fig. 24-6 : Répartition spatiale des totaux pluviométriques
enregistrés durant le mois de Septembre sur la
station de Saria. P 149

CHAPITRE 5

- Fig. 25-1 : Croissance linéaire du maïs à Kié. P 165
- Fig. 25-2 : Rendements en grain du maïs variété IRAT 171 en
fonction du site et de l'année. P 170
- Fig. 25-3 : Analyse des interactions entre les 3 traitements
communs aux essais en maïs IRAT 171. P 170
- Fig. 25-4 : Rendements en paille du maïs variété IRAT 171 en
fonction du site et de l'année. P 172
- Fig. 25-5 : Nombre moyen d'épis récoltés par poquet pour le
maïs IRAT 171 en fonction du site et de l'année P 172
- Fig. 25-6 : Profils hydriques de Saria Haut au 22/06/83. P 174
- Fig. 25-7 : Profils hydriques de Saria Haut au 30/06/83. P 174
- Fig. 25-8 : Profils hydriques de Saria Haut au 01/09/83. P 177
- Fig. 25-9 : Profils hydriques de Saria Haut au 19/09/83. P 177
- Fig. 25-10 : Profils hydriques de Saria Haut au 29/09/83. P 178

- Fig. 25-11 : Profils hydriques de Saria Haut au 28/10/83. P 178
- Fig. 25-12 : Profils hydriques de Saria Bas au 22/06/83. P 179
- Fig. 25-13 : Profils hydriques de Saria Bas au 29/10/83. P 179
- Fig. 25-14 : Profils hydriques de Gampela au 22/06/82. P 180
- Fig. 25-15 : Profils hydriques de Gampela au 05/07/82. P 180
- Fig. 25-16 : Schéma de répartition spatiale des profils racinaires du sorgho S10 au stade début montaison à Saria Haut 1983. P 183
- Fig. 25-17 : Schéma de répartition spatiale des profils racinaire du sorgho S10 au stade début montaison à Saria Bas 1983. P 183
- Fig. 25-18 : Hauteur du sorgho S10 1 mois après le semis. P 190
- Fig. 25-19 : hauteur du sorgho S10 3 mois après le semis. P 190
- Fig. 25-20 : Croissance linéaire du sorgho S10 à Saria Bas 1983. P 191
- Fig. 25-21 : Rendements en grain du sorgho S10 en fonction du site et de l'année. P 193
- Fig. 25-22 : Rendements en grain des variétés locales de sorgho en fonction du site et de l'année P 194
- Fig. 25-23 : Analyse des interactions traitements communs (T1, T3, T8) appliqués au sorgho. P 194
- Fig. 25-24 : Rendements en grain du sorgho sur le site de Saria Haut en fonction des années d'essai. P 197
- Fig. 25-25 : Rendements en grains du sorgho sur le site de Saria Bas en fonction des années d'essai. P 197
- Fig. 25-26 : Rendements en paille du sorgho sur le site de Saria Haut en fonction des années d'essai. P 198
- Fig. 25-27 : Rendements en paille du sorgho sur le site de Saria Bas en fonction des années d'essai. P 198
- Fig. 25-28 : Comparaison des rendements en grain du sorgho pour 5 des sites d'essais en 1983. P 199
- Fig. 25-29 : Comparaison des rendements en grain du sorgho pour 5 sites d'essais en 1984 P 199
- Fig. 25-30 : Rendement en sorgho grain du témoin en fonction de la situation de la parcelle sur la toposéquence. P 201
- Fig. 25-31 : Rendement en sorgho grain du labour en fonction de la situation sur la toposequence. P 201

- Fig. 25-32 : Rendement en sorgho grain du labour suivi du buttage cloisonné en fonction de la situation sur la toposéquence. P 202
- Fig. 25-33 : Croissance linéaire du mil à Sabouna (1982). P 210
- Fig. 25-34 : Rendements en grain du mil sur les sites d'essai pour 4 traitements étudiés. P 213
- Fig. 25-35 : Rendement en paille du mil local sur les sites d'essai pour quatre traitements étudiés. P 213
- Fig. 25-36 : Courbes d'évolution des coefficients de ruissellement annuels et des I30 moyens annuels. P 218
- Fig. 25-37 : Evolution des coefficients du ruissellement dans la première période de l'hivernage. P 218
- Fig. 25-38 : Evolution des coefficients du ruissellement dans la seconde période de l'hivernage. P 219
- Fig. 25-39 : Evolution des coefficients du ruissellement dans la 3ème période de l'hivernage. P 219
- Fig. 25-40 : Rendements en grain du sorgho sur les parcelles d'érosion. P 221

CHAPITRE 6

- Fig. 26-1 : Comparaison de l'évolution en 1988 des profils d'humidité entre le témoin (tube 2) et le labour à plat (tube 10). P 232
- Fig. 26-2 : Rendements en paille du sorgho E 35-1 (essai travail du sol en sec). P 237
- Fig. 26-3 : Rendements en grain du sorgho E 35-1 (essai travail du sol en sec). P 237

CHAPITRE 7

- Fig. 37-1 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du maïs des traitements témoins et l'indice du rendement espéré. P 248
- Fig. 37-2 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des traitements labourés et l'indice du rendement espéré (bas de toposéquence). P 253

Fig. 37-3 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des traitements labourés et l'indice du rendement espéré (haut de toposéquence).
P 254

Fig. 37-4 : Droite de régression linéaire entre les rendements en grain du sorgho des billons cloisonnés et l'indice ETR/ETM à la maturation.
P 255

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

CHAPITRE 5

Photo. n° 1 : Profil d'enracinement du sorgho en fin de floraison sur un T1 (grattage superficiel du sol à la houe traditionnelle). P 184

Photo. n° 2 : Profil d'enracinement du sorgho en fin de floraison sur un T3 (labour à plat à la traction bovine). P 184

Photo. n° 3 : Comparaison de la taille du sorgho IRAT 277 entre le T1 (grattage superficiel du sol à la daba) et le T8 (labour à plat + buttage cloisonné) deux mois après la levée à Saria Bas (P8), août 1986. P 189

Photo. n° 4 : Au lendemain d'une pluie de 22 mm à Saria Bas en 1986, les bassins de micro-captage des buttages cloisonnés retiennent encore l'eau qui pourra s'infiltrer au profit du sorgho, septembre 1986. P 189

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

- Tableau 11-1 : Variabilité fréquentielle de la pluviométrie au cours de la période 1970-1987 pour 5 stations du Burkina Faso (loi normale) P 19
- Tableau 11-2 : Variabilité fréquentielle de la pluviométrie mensuelle pour 5 stations du Burkina Faso (période 1970-1987) P 25
- Tableau 11-3 : Nombre de fois où l'on enregistre n jours successifs sans pluie durant les mois de Septembre et Octobre pour 6 stations du Burkina Faso P 26
- Tableau 11-4 : Fréquences de retour des pluies journalières exceptionnelles à Ouagadougou P 28
- Tableau 11-5 : Fréquences mensuelles et annuelles d'un vent instantané quotidien maximum à Ouagadougou (1968-1977) P 37
- Tableau 11-6 : Fréquences mensuelles et annuelles d'un vent instantané quotidien maximum à Bobo-Dioulasso (1968-1976) P 38
- Tableau 11-7 : Seuils de passage d'une phase à une autre utilisés par le modèle BHYZON P 49

CHAPITRE 3

- Tableau 23-1 : Variables d'entrées du modèle de simulation BIPZON P 76
- Tableau 23-2 : Durée des 4 phases physiologiques de quelques variétés de sorgho, mil et maïs P 78
- Tableau 23-3 : Comparaison des courbes de réponse à l'eau proposées pour les principales cultures céréalières en zone tropicale en Afrique de l'Ouest P 83
- Tableau 23-4 : Valeurs approximatives des rendements espérés du sorgho chez les paysans en 3 sites du Burkina Faso P 92
- Tableau 23-5 : Valeurs approximatives des rendements espérés du maïs pour 3 sites du Burkina P 108
- Tableau 23-6 : Valeurs approximatives des rendements espérés du mil dans 3 sites du Burkina Faso P 118

CHAPITRE 4

Tableau 24-1 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie des sites d'essai (zone sud-soudan).	P 130
Tableau 24-2 : Principaux éléments du sol de Saria.	P 135
Tableau 24-3 : Formes et fractions de l'azote.	P 135
Tableau 24-4 : Pertes par érosion des éléments minéraux du sol à Saria (en kg/ha/an, ROOSE et al, 1979).	P 137
Tableau 24-5 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie (X) des sites d'essai (zone nord-soudanienne).	P 138
Tableau 24-6 : Pluviométries mensuelles et nombre de jours de pluie (X) des sites d'essai (zone sahélienne)	P 142
Tableau 24-7 : Comparaison entre les moyennes mensuelles des 11 pluviomètres et les relevés du pluviomètre principal de la station météorologique.	P 150
Tableau 24-8 : Caractéristiques principales des variétés de sorgho utilisées dans les essais.	P 152
Tableau 24-9 : Caractéristiques principales des variétés de maïs utilisées dans les essais.	P 153

CHAPITRE 5

Tableau 25-1 : Inventaire des traitements	P 158
Tableau 25-2 : Traitements étudiés dans chaque site.	P 159
Tableau 25-3 : Essais mis en place par année, site, culture et variété.	P 160
Tableau 25-4 : Hauteur en cm des plants de maïs 171 à Farako et Niangoloko.	P 164
Tableau 25-5 : Techniques de travail du sol et enracinement du maïs 171 à Farako en 1983.	P 166
Tableau 25-6 : Moyennes des rendements en grains du maïs (14 à 15 % d'humidité).	P 168
Tableau 25-7 : Résultats des observations sur l'enherbement à Saria Bas en 1983.	P 181
Tableau 25-8 : Nombre moyen de racines et des ramifications visibles par tranche de sol à Saria Haut.	P 185
Tableau 25-9 : Nombre moyen de racines et des ramifications visibles par tranche de sol à Saria Bas.	P 185
Tableau 25-10 : Impact du travail du sol sur la levée du sorgho S10 à gampela en 1984.	P 186

- Tableau 25-11 : Températures du sol au semis et à la levée du sorgho dans l'essai techniques culturales x variétés de sorgho de la parcelle 3 de Saria 1988. P 187
- Tableau 25-12 : Dates du début de l'épiaison du sorgho S10 semé le 24/06/84 à Saria. P 188
- Tableau 25-13 : Rapports grain/paille du sorgho S10 à Saria Haut et à Saria Bas. P 196
- Tableau 25-14 : Comparaison de l'effet du buttage sur le rendement moyen du sorgho. P 203
- Tableau 25-15 : Comparaison de l'effet du buttage + cloisonnement sur le rendement moyen du sorgho. P 203
- Tableau 25-16 : Comparaison de l'effet du cloisonnement à un mois après le semis sur le rendement moyen du sorgho. P 204
- Tableau 25-17 : Comparaison des pourcentages d'augmentation du rendement en grain du sorgho par traitement. P 205
- Tableau 25-18 : Comparaison de l'effet du buttage cloisonné à 1 mois non précédé d'un labour sur le rendement moyen du sorgho. P 206
- Tableau 25-19 : Comparaison de l'effet du semis sur des billons cloisonnés sur le rendement moyen du sorgho. P 206
- Tableau 25-20 : Résultats moyens de deux composantes du rendement du sorgho obtenus sur tous les essais. P 207
- Tableau 25-21 : Comparaison sur le rendement moyen en grain en 1987 de l'arrière-effet des techniques réalisées en 1986. P 208
- Tableau 25-22 : Comparaison des indices de récolte du mil pour 3 des essais étudiés. P 214
- Tableau 25-23 : Valeurs moyennes des composantes du mil. P 214
- Tableau 25-24 : Moyennes mensuelles des intensités en 30 mm (J30) des pluies supérieures à 10 mm à Saria (exprimées en mm/heure). P 216
- Tableau 25-25 : Quantités totales de terre (solides + terre fine) érodées en tonne/ha. P 220

CHAPITRE 6

- Tableau 26-1 : Pluviosité et opportunité d'irrigation de complément à Saria. P 230
- Tableau 26-2 : Rendements en paille et grain et indices de récolte du sorgho E 35-1 avec irrigation de complément à Saria. P 233

Tableau 26-3 : Rendements en grain du sorgho IRAT 204. Essai avec irrigation de complément à Sabouna. P 235

CHAPITRE 7

Tableau 37-1 : Hypothèses de simulation du bilan hydrique appliquées pour les sites d'expérimentation. P 242

Tableau 37-2 : Comparaison entre les valeurs journalières d'ETR (mm) du sorgho E35-1 évaluées selon les deux méthodes et celles de l'ETP PENMAN (essai de travail du sol en sec, 1987) P 244

Tableau 37-3 : Comparaison entre les valeurs journalières d'ETR (mm) du sorgho E35-1 évaluées selon les 2 méthodes et celles de l'ETP PENMAN (essai irrigation de complément, 1987) P 245

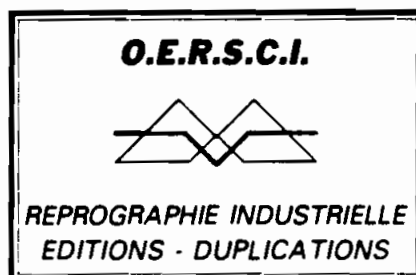
Tableau 37-4 : Comparaison des valeurs d'ETR/ETM aux différentes phases du maïs avec les rendements du labour (T3). P 250

Tableau 37-5 : Comparaison des rendements du maïs avec les valeurs de l'efficacité de l'eau (E) P 251

Tableau 37-6 : Comparaison des rendements du sorgho avec les valeurs de l'efficacité de l'eau (E) P 257

Tableau 37-7 : Comparaison des rendements en grain du mil et des taux de satisfaction des besoins en eau P 258

*Office d'Édition de la Recherche Scientifique
et Coopération Internationale*



*Parc Modulopolis H I Zone Euromédecine
Montpellier 67.52.20.05*