

**BURKINA FASO**

Unité-Progrès-Justice

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS  
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

-----  
UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE  
BOBO DIOULASSO

-----  
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT  
RURAL

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS  
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

-----  
CENTRE NATIONAL DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET  
TECHNOLOGIQUE

-----  
INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET  
DES RECHERCHES AGRICOLES

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

 - 860

Présenté en vue de l'obtention du  
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

**THEME**

**ZONAGE AGROCLIMATIQUE DES CULTURES DE RIZ  
PLUVIAL, DE COTON ET DE MAÏS DANS L'OUEST DU  
BURKINA**

Directeur de Mémoire

Docteur ZOMBRE Prosper

Maître de stage

Docteur DEMBELE Youssouf

## **DEDICACE**

**à mon père et à ma mère**

**à mes frères et sœurs**

**à Homboué Louise, ma future épouse**

**à notre fille, Jessica**

**à tous mes amis**

**à ceux qui œuvrent pour l'amour entre les hommes**

**je dédie ce mémoire**

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	III
RÉSUMÉ .....	V
ABREVIATIONS ET SIGLES.....	VI
LISTE DES CARTES.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE 1 : LES RELATIONS EAU-SOL-PLANTE-CLIMAT.....	3
1.1. LES FACTEURS DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES.....	3
1.1.1. Les facteurs liés au climat.....	3
1.1.2. Les facteurs liés au sol.....	4
1.1.3. Les facteurs liés à la plante.....	4
1.2. LA NOTION DU BILAN HYDRIQUE.....	5
1.3. L'IMPACT DU DÉFICIT HYDRIQUE SUR LES CULTURES.....	6
1.3.1. Les conséquences du déficit hydrique sur la croissance et le rendement.....	6
1.3.2. Les mécanismes d'adaptation de la plante à la sécheresse.....	7
1.3.3. Les méthodes de lutte contre le déficit hydrique.....	9
CHAPITRE 2: CARACTÉRISTIQUES DES TROIS CULTURES ÉTUDIÉES.....	11
2.1. LE RIZ PLUVIAL.....	11
2.2. LE MAÏS.....	11
2.3. LE COTONNIER.....	12
CHAPITRE 3 : LE CONTEXTE DE LA ZONE ÉTUDIÉE : LA RÉGION OUEST DU BURKINA FASO.....	13
3.1. LE CADRE PHYSIQUE.....	13
3.1.1. Le climat.....	14
3.1.2. Les sols.....	18
3.1.3. La végétation.....	20
3.1.4. Le réseau hydrographique.....	20
3.2. LES POPULATIONS ET LEURS ACTIVITÉS.....	21
3.2.1. Les populations.....	21
3.2.2. Les principales activités.....	21
3.3. LE CONTEXTE DE LA PRODUCTION DES TROIS CULTURES ÉTUDIÉES DANS LA REGION OUEST DU BURKINA FASO.....	22
3.3.1. Le riz pluvial.....	22
3.3.2. Le maïs.....	23
3.3.3. Le cotonnier.....	24

## DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODE

CHAPITRE 4 : SIMULATION DE LA SATISFACTION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES. ....	26
4.1. LE MODÈLE DE SIMULATION UTILISÉ : SARRA. ....	26
4.1.1. Le module SARRAMET. ....	27
4.1.2. Le module SARRAZON. ....	27
4.1.3. Le module SARRABIL. ....	27
4.2. LES PARAMÈTRES D'ENTRÉE DU MODÈLE SARRA. ....	28
4.2.1. Les paramètres liés à la culture. ....	28
4.2.2. Les paramètres liés au réseau climatique. ....	30
4.2.3. Les autres données d'entrée. ....	32
4.3. LES VARIABLES DE SORTIE DU MODÈLE SARRA. ....	34
4.3.1. Nature et caractéristiques des variables de sortie. ....	34
4.3.2. Les variables de sortie retenues. ....	35
CHAPITRE 5 : SIMULATION DES RENDEMENTS ESPÉRÉS. ....	37
5.1. COLLECTE ET EXPLOITATION DES DONNÉES DES TESTS AGRONOMIQUES EN MILIEU PAYSAN. ....	37
5.2. DÉTERMINATION DES RENDEMENTS ESPÉRÉS DES TROIS CULTURES. ....	37
5.2.1. Détermination de l'IRESP. ....	38
5.2.2. Calcul des rendements espérés. ....	38
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION	
CHAPITRE 6 : ZONAGE PAR CULTURE. ....	I
6.1. ZONAGE DU RIZ PLUVIAL. ....	40
6.1.1. Période optimum de semis du riz pluvial de 90 jours. ....	40
6.1.2. Période optimum de semis du riz pluvial de 100 jours. ....	46
6.1.3. Conclusion sur le zonage du riz pluvial. ....	52
6.2. ZONAGE DU COTON. ....	53
6.2.1 Périodes optimum de semis du coton de 135 jours. ....	53
6.2.2. Période optimum de semis du coton de 160 jours. ....	59
6.2.3. Conclusion sur le zonage du coton. ....	64
6.3. ZONAGE DU MAÏS. ....	65
6.3.1. Période optimum de semis du maïs de 90 jours. ....	65
6.3.2. Période optimum de semis du maïs de 110 jours. ....	70
6.3.3. Période optimum de semis du maïs de 130 jours. ....	75
6.3.4. Conclusion sur le zonage du maïs. ....	80
CHAPITRE 7 : LES RENDEMENTS ESPÉRÉS. ....	81
7.1. IRESP DU RIZ PLUVIAL. ....	82
7.2. IRESP DU COTON. ....	86
7.3. IRESP DU MAÏS. ....	90
CONCLUSION GENERALE. ....	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES. ....	98

## REMERCIEMENTS

La réalisation du présent mémoire a été rendue possible grâce à l'appui et à la contribution de plusieurs personnes. Il a été produit sous le couvert de la station de recherche de l'INERA de Farako-Bâ. Qu'il nous soit donc permis d'adresser nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail. Nos remerciements s'adressent particulièrement :

- au **Dr TRAORE Séydou**, Délégué régional du CRREA de l'Ouest et Chef de la station de recherche agronomique de Farako-Bâ pour nous avoir accepté comme stagiaire dans sa station ;

- au **Dr BADO Vincent**, Chef du Programme GRN/SP pour nous avoir accueilli au sein de son programme ;

- au **Dr DAKUOU Dona**, Chef du Programme riz pour les facilités qu'il nous a offertes dans la production de notre document final ;

- au **Dr DEMBELE Youssouf**, notre maître de stage pour son encadrement exemplaire et ses riches conseils scientifiques durant tout le stage. Il nous a accordé une attention particulière et a été d'une contribution très forte dans l'adoption du plan de notre mémoire et dans sa correction. Sa contribution à la réussite de ce travail mérite une gratitude particulière. Il a également su se présenter comme un aîné soucieux de l'avenir de son cadet en nous accordant son soutien moral et matériel dans la mesure de son possible, pendant nos moments difficiles ;

- au **Dr ZOMBRE Prosper**. Nos travaux sous sa direction ont bénéficié d'un encadrement scientifique de grande qualité. Ses remarques et suggestions ont produit un impact certain sur la qualité de notre document. Sa constante disponibilité et son soutien matériel nous ont donné beaucoup plus de courage dans notre tâche ;

- au **Dr TRAORE Doulaye**, Chef du Programme coton à qui nous exprimons notre profonde gratitude. Notre travail n'aurait pas pu finir dans les délais sans son concours. En effet il nous a accordé l'ensemble du matériel logiste nécessaire et ce tout au long de notre stage ;

• au **Dr SANOU Jacob** (Sélectionneur maïs du Programme céréales traditionnelles), au **Dr SIE Moussa** (Sélectionneur riz du Programme riz et riziculture) et à **M. COULIBALY Bazoumana** (Agronome du Programme coton). Ces chercheurs de l'INERA nous ont conseillé et guidé dans le choix des données relatives aux trois cultures de notre étude. Leurs appréciations sur les résultats que nous avons obtenus nous ont permis de mieux les exploiter. Nous les prions de trouver ici l'expression de nos sincères reconnaissances ;

• à **M. OUEDRAOGO Lucien**, Géographe-chercheur à l'INERA (CREAF Kamboinsin) à qui nous témoignons toute notre gratitude. Son intervention dans la conception des cartes a été d'un apport inestimable pour nous ;

• au **Dr BACYE Bernard**, Chef du Département Agronomie de l'IDR et au **Dr ILBOUDO Jean-Baptiste**, enseignant-Chercheur à l'IDR. Leurs remarques et leurs questions pertinentes nous ont permis de mieux orienter notre étude. Nous leur sommes également reconnaissant pour leurs conseils et les corrections qu'ils ont apportées au document ;

• à **M. BARON** et à **M. REYNIERS**, chercheurs du CIRAD/Montpellier qui, malgré leurs multiples tâches, ont bien voulu répondre à nos courriers électroniques. Leurs réponses nous ont permis de mieux nous familiariser avec le logiciel SARRA. Merci également pour leur conseil dans le choix des variables d'entrée du logiciel ;

• à tous les enseignants de l'IDR pour leur encadrement technique et scientifique au cours de notre formation ;

• à tous les chercheurs et techniciens de Farako-Bâ, principalement ceux du Programme coton dont la contribution et l'ambiance créée autour de nous, nous ont été d'un grand recours ;

• à **M. MUGHUSAWIMANA** pour son amitié, son soutien et ses conseils ;

• aux collègues stagiaires pour tout ce que nous avons surmonté ensemble.

A tous nous réitérons nos remerciements.

## **RESUME**

La région Ouest du Burkina Faso qui constitue le grenier du pays, subit, à l'instar de l'ensemble des pays sahéliens, une forte variabilité spatio-temporelle des précipitations. L'ampleur des modifications récentes du climat, a occasionné une dégradation des conditions de production en agriculture pluviale, rendant ainsi difficile et aléatoire la décision de la période des semis.

L'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique des cultures, qui intègre des données sur le climat, les cultures et le sol, a permis :

- de préciser, dans chaque zone agroclimatique de la région Ouest du Burkina Faso, les dates de semis optimum du riz pluvial, du coton et du maïs, et d'en déduire les variétés qui s'y adaptent le mieux.
- de déterminer les indices de rendements espérés pour chacune de ces variétés

De cette étude il ressort que les variétés à cycle long, qui s'adaptent mieux dans la partie australe de la région Ouest du Burkina Faso, doivent être semées plus précocement que les variétés à cycle court. Ces dernières sont mieux indiquées dans la partie septentrionale de la région, mais elles constituent les meilleures spéculations dans la partie Sud, en cas d'installation capricieuse des pluies. La réserve utile en eau du sol est apparue importante dans l'étude car elle contribue

**Mots clé** : Zonage agroclimatique - Simulation - Riz pluvial - Coton – Maïs - Bilan hydrique - Dates de semis - Indice des rendements espérés - Région Ouest du Burkina Faso.

## **ABREVIATIONS ET SIGLES**

<b>ADRAO</b>	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'ouest
<b>BIP</b>	Bilan hydrique des Plantes
<b>BUNASOL</b>	Bureau National des Sols
<b>CEMAGREF</b>	Centre de Machinisme Agricole, génie rural en eau et forêt
<b>CIRAD</b>	Centre de Coopération Internationale de Recherche pour le Développement
<b>CIRDES</b>	Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide
<b>CRPA</b>	Centre Régional de Promotion Agropastorale
<b>CRREA</b>	Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles
<b>DRA</b>	Direction Régionale de l'Agriculture
<b>ETM</b>	Evapotranspiration Maximale
<b>ETP</b>	Evapotranspiration Potentiel
<b>ETR</b>	Evapotranspiration Réelle
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the unated nations
<b>FIT</b>	Front Inter Tropical
<b>IDR</b>	Institut du Développement Rural
<b>INERA</b>	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
<b>IRD</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>IRESP</b>	Indice des rendements espérés
<b>ORSTOM</b>	Office de Recherche Scientifique des Terroirs d'Outre Mer
<b>PAFR</b>	Plan d'Action pour la Filière Riz
<b>PSSA</b>	Programme Spécial pour la Sécurité Alimentaire
<b>RU</b>	Réserve Utile
<b>SARRA</b>	Système d'Analyse Régionale du Risque Agroclimatique
<b>SOFITEX</b>	Société des fibres textiles du Burkina Faso
<b>TSBE</b>	Taux de satisfaction des besoins en eau

## **LISTE DES CARTES**

<b><u>Carte 1:</u></b> La zone Ouest du Burkina Faso et stations prises en compte dans l'étude .....	13
<b><u>Carte 2:</u></b> Pluviométrie d'occurrence 8 ans sur 10 de la normale 1969-1998 .....	16
<b><u>Carte 3:</u></b> Pluviométrie d'occurrence 8 ans sur 10 de la décennie 1989-1998.....	17
<b><u>Carte 4:</u></b> Sols du Burkina.....	18
<b><u>Carte 5:</u></b> Repartition spatiale des postes pluviométriques .....	31
<b><u>Carte 6:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux Phases critiques, variété de 90 jours RU = 120 mm/m .....	45
<b><u>Carte 7:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux Phases critiques, variété de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	45
<b><u>Carte 8:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux phases critiques, variété de 100 jours, RU = 120 mm/m .....	51
<b><u>Carte 9:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux phases critiques, variété de 100 jours, RU = 120 mm/m .....	51
<b><u>Carte 10:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 135 jours, RU = 120 mm/m .....	58
<b><u>Carte 11:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 135 jours, RU = 90 mm/m .....	58
<b><u>Carte 12:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 160 jours, RU = 120 mm/m .....	63
<b><u>Carte 13:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 160 jours, RU = 90 mm/m .....	63
<b><u>Carte 14:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 90 jours, RU = 120 mm/m .....	69
<b><u>Carte 15:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	69
<b><u>Carte 16:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 110 jours, RU = 120 mm/m .....	74
<b><u>Carte 17:</u></b> Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 110 jours, RU = 90 mm/m .....	74
<b><u>Carte 18:</u></b> Indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	84
<b><u>Carte 19:</u></b> Indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours, RU = 120 mm/m .....	84
<b><u>Carte 20:</u></b> Indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours, RU = 90 mm/m .....	85
<b><u>Carte 21:</u></b> Indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours, RU = 120 mm/m .....	85
<b><u>Carte 22:</u></b> Indice de rendements espérés du coton de 135 jours, RU = 90 mm/m .....	88
<b><u>Carte 23:</u></b> Indice de rendements espérés du coton de 135 jours, RU = 120 mm/m .....	88
<b><u>Carte 24:</u></b> Indice de rendements espérés du coton de 160 jours, RU = 90 mm/m .....	89
<b><u>Carte 25:</u></b> Indice de rendements espérés du coton de 160 jours, RU = 120 mm/m .....	89
<b><u>Carte 26:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	92
<b><u>Carte 27:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 90 jours, RU = 120 mm/m .....	92
<b><u>Carte 28:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 110 jours, RU = 90 mm/m .....	93
<b><u>Carte 29:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 110 jours, RU = 120 mm/m .....	93
<b><u>Carte 30:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 130 jours, RU = 120 mm/m .....	94
<b><u>Carte 31:</u></b> Indice de rendements espérés du maïs de 130 jours, RU = 120 mm/m .....	94

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> schématisation de Kc en fonction du temps .....	30
<b>Figure 2:</b> Période optimum de semis du riz de 90 jours, RU = 120 mm/m .....	42
<b>Figure 3:</b> Période optimum de semis du riz de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	43
<b>Figure 4:</b> Période optimum de semis du riz de 90 jours, RU = 60 mm/m .....	44
<b>Figure 5:</b> Période optimum de semis du riz de 100 jours, RU = 120 mm/m .....	48
<b>Figure 6:</b> Période optimum de semis du riz de 100 jours, RU = 90 mm/m .....	49
<b>Figure 7:</b> Période optimum de semis du riz de 100 jours, RU = 60 mm/m .....	50
<b>Figure 8:</b> Période optimum de semis du coton de 135 jours, RU = 120 mm/m .....	55
<b>Figure 9:</b> Période optimum de semis du coton de 135 jours, RU = 90 mm/m .....	56
<b>Figure 10:</b> Période optimum de semis du coton de 135 jours, RU = 60 mm/m .....	57
<b>Figure 11:</b> Période optimum de semis du coton de 160 jours, RU = 120 mm/m .....	60
<b>Figure 12:</b> Période optimum de semis du coton de 160 jours, RU = 90 mm/m .....	61
<b>Figure 13:</b> Période optimum de semis du coton de 160 jours, RU = 60 mm/m .....	62
<b>Figure 14:</b> Période optimum de semis du maïs de 90 jours, RU = 120 mm/m .....	66
<b>Figure 15:</b> Période optimum de semis du maïs de 90 jours, RU = 90 mm/m .....	67
<b>Figure 16:</b> Période optimum de semis du maïs de 90 jours, RU = 60 mm/m .....	68
<b>Figure 17:</b> Période optimum de semis du maïs de 110 jours, RU = 120 mm/m .....	71
<b>Figure 18:</b> Période optimum de semis du maïs de 110 jours, RU = 90 mm/m .....	72
<b>Figure 19:</b> Période optimum de semis du maïs de 110 jours, RU = 60 mm/m .....	73
<b>Figure 20:</b> Période optimum de semis du maïs de 130 jours, RU = 120 mm/m .....	77
<b>Figure 21:</b> Période optimum de semis du maïs de 130 jours, RU = 90 mm/m .....	78
<b>Figure 22:</b> Période optimum de semis du maïs de 130 jours, RU = 60 mm/m .....	79
<b>Figure 23:</b> IRESP du riz de 90 jours, RU de 120 mm/m .....	83
<b>Figure 24:</b> IRESP du riz de 90 jours, RU de 90 mm/m .....	83
<b>Figure 25:</b> IRESP du riz de 90 jours, RU de 90 mm/m .....	83
<b>Figure 26:</b> IRESP du riz de 100 jours, RU de 90 mm/m .....	83
<b>Figure 27:</b> IRESP du coton de 135 jours, RU de 120 mm/m .....	87
<b>Figure 28:</b> IRESP du coton de 160 jours, RU de 120 mm/m .....	87
<b>Figure 29:</b> IRESP du coton de 135 jours, RU de 90 mm/m .....	87
<b>Figure 30:</b> IRESP du coton de 160 jours, RU de 90 mm/m .....	87
<b>Figure 31:</b> IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120 mm/m .....	91
<b>Figure 32:</b> IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120 mm/m .....	91
<b>Figure 33:</b> IRESP du maïs de 130 jours, RU de 120 mm/m .....	91
<b>Figure 34:</b> IRESP du maïs de 90 jours, RU de 90 mm/m .....	91
<b>Figure 35:</b> IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90 mm/m .....	91
<b>Figure 36:</b> IRESP du maïs de 130 jours, RU de 90 mm/m .....	91

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b><u>Tableau I:</u></b> Superficies et consommation des principales céréales au Burkina .....	22
<b><u>Tableau II:</u></b> Production des cultures céréalières et cotonnière de la région Ouest....	24
<b><u>Tableau III:</u></b> Evolution de la production nationale cotonnière du Burkina .....	25
<b><u>Tableau IV:</u></b> Longueur de cycle et phases de développement des cultures en jours	28
<b><u>Tableau V:</u></b> Vitesse racinaire du riz pluvial.....	29
<b><u>Tableau VI:</u></b> Coefficients culturaux décadaires du riz pluvial .....	29
<b><u>Tableau VII:</u></b> Coefficients culturaux du maïs et du cotonnier par phase.....	30
<b><u>Tableau VIII:</u></b> Durée des phases physiologiques des variétés de riz pluvial, de cotonnier et de maïs .....	35

## INTRODUCTION.

La région Ouest du Burkina Faso est une zone vitale pour l'agriculture du pays. En effet, sur moins du quart du territoire national (58000 km<sup>2</sup>) et avec seulement 21 % de la population du pays, cette région fournit 29 % des productions céréalières et 90 % de la production cotonnière (Dakouo, 1994). Les potentialités physiques de la région Ouest, couplées à une mécanisation partielle de l'agriculture (favorisée par la culture cotonnière) font d'elle ce que l'on a souvent appelé «le grenier» du Burkina Faso. L'excédent céréalier produit par rapport aux besoins vivriers locaux permet une exportation de certaines céréales dont le maïs et le sorgho vers d'autres régions déficitaires du pays, et le niébé vers certains pays limitrophes (INERA, 1994). L'importance de la région Ouest pour l'agriculture burkinabé est attribuable surtout à ses potentialités pédo-climatiques qui sont parmi les meilleures du pays. Elle a une moyenne pluviométrique qui varie de 750 mm au nord à 1200 mm au sud (Dakouo, 1994) et des sols relativement profonds. Elle constitue ainsi la zone la plus arrosée du pays.

A l'instar de l'ensemble de l'Afrique soudano-sahélienne, l'Ouest du Burkina subit depuis la fin des années 1960 une péjoration climatique. La pluviométrie accuse une tendance à la baisse et devient de plus en plus aléatoire (Guinko, 1989 ; Somé, 1989 ; Dembélé, 1995 ; Mugishawimana, 2000). Somé (1989) a montré à travers une analyse fréquentielle des pluies décennales, non seulement une régression des moyennes enregistrées durant les périodes de 1950-1968, 1950-1987, 1969-1987, mais aussi un arrêt brutal des pluies qui survient d'autant plus tôt que l'on va du sud vers le nord. Le nombre élevé d'enregistrements de «trous pluviométriques» de trois à dix jours successifs a été mentionné par l'auteur. Ces trous pluviométriques peuvent coïncider avec les périodes sensibles des cultures. Les conséquences d'une telle situation sont :

- une réduction de la longueur de la période favorable à la croissance des plantes ;
- une réduction des périodes favorables aux semis ;
- une augmentation du risque d'apparition des poches de sécheresse.

Le résultat global de cette situation est une baisse de la production

Ainsi, et de manière générale, on peut dire qu'au Burkina Faso la difficulté de satisfaire les besoins en eau des cultures est très souvent majeure, parmi l'ensemble des contraintes qui affectent l'activité agricole. Néanmoins, avec le temps et l'expérience, et avec l'aide de la recherche agronomique, les agriculteurs ont appris à vivre avec cette contrainte en mettant au

point des systèmes de cultures, et plus généralement des stratégies permettant de limiter les risques attendant à la limitation et au caractère aléatoire de la ressource pluviométrique.

Face à la persistance du phénomène, il devient urgent d'adapter les systèmes et les pratiques agricoles aux nouvelles conditions agroclimatiques du milieu. Une des stratégies repose sur le calage judicieux du cycle agricole. L'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique des cultures est un procédé qui permet la réalisation d'une telle stratégie et aussi de mieux gérer cette ressource. Ainsi, la présente étude porte sur la simulation du bilan hydrique des cultures du riz pluvial, du maïs et du cotonnier et l'analyse des risques climatiques auxquels elles peuvent être soumises.

L'objectif est d'aboutir à une meilleure connaissance des dates optimales de semis et des rendements espérés (ou de leur indice) en fonction de la variété (longueur du cycle), du type de sol (réserve utile), etc. selon les localités. Des études similaires ont déjà été effectuées par Somé (1989) sur l'ensemble du territoire national (sorgho, maïs et mil), et par Mugishawimana (2000) sur la zone cotonnière Ouest (maïs et coton). Tous ces deux auteurs ont utilisé le modèle de simulation BIP (bilan hydrique à la parcelle).

Dans la présente étude intitulée : «Zonage agroclimatique des cultures de riz pluvial, de coton et de maïs dans l'Ouest du Burkina Faso», nous utiliserons le modèle «Système d'analyse régionale des risques agroclimatiques» (SARRA) qui est une version améliorée du modèle BIP.

Le zonage divise une aire en unités plus petites selon des critères de distribution des sols, de morphologie et de climat. Son but, lorsqu'on la pratique pour la planification de l'utilisation des terres en zones rurales, est d'identifier les zones homogènes en potentiels et en contraintes de développement. Il est dès lors possible de formuler les programmes spécifiques les plus efficaces pour chaque zone (FAO, 1997).

Ce mémoire comprend trois parties :

- la première partie qui est une synthèse bibliographique sur la connaissance des cultures étudiées, traite des généralités écologiques du milieu et permet de mieux cerner l'importance et les conditions actuelles de la production agricole notamment des trois cultures ;
- la deuxième partie est relative à la démarche adoptée. Elle fait une description détaillée des méthodes et des matériels utilisés tout au long de l'étude ;
- la troisième partie est consacrée aux résultats et discussions.

Une conclusion générale est réservée aux résultats obtenus et sera l'occasion pour nous d'envisager les perspectives possibles pour une amélioration de l'étude.

# PREMIERE PARTIE

Revue

Bibliographique

## **CHAPITRE 1 : LES RELATIONS EAU-SOL-PLANTE-CLIMAT.**

L'alimentation en eau est considérée comme un facteur essentiel pour la croissance, le développement et le rendement de beaucoup de cultures. En effet, une déficience en eau survenue pendant les périodes critiques cause des chutes de rendements le plus souvent irréversibles même si la situation hydrique s'améliorait après. L'alimentation hydrique peut être influencée dans le continuum sol-plante-climat par un certain nombre de paramètres climatiques, pédologiques ou liés à la plante.

### **1.1. LES FACTEURS DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES.**

#### **1.1.1. LES FACTEURS LIES AU CLIMAT.**

Selon Reyniers et Forest (1990), l'évapotranspiration potentielle (ETP) ou demande évaporative et les régimes pluviométriques sont les deux éléments du climat qui conditionnent les flux hydriques dans le continuum sol-plante-atmosphère.

L'ETP est théoriquement la quantité d'eau que cède à l'atmosphère, par transpiration de la plante et par évaporation du sol, une culture de végétation abondante, en pleine croissance, couvrant totalement un sol largement pourvu en eau (Soltner, 1992). Elle est souvent assimilée à  $ET_0$  ou évapotranspiration de référence. C'est un facteur dont la valeur sera d'autant plus élevée que l'air environnant est sec et chaud et le vent fort.

Lorsque les quantités d'eau disponibles permettent de satisfaire entièrement les besoins de la culture, la consommation en eau de celle-ci atteint une valeur limite appelée évapotranspiration maximale (ETM). Mais, dans les conditions réelles, la plante subit des contraintes qui diminuent sa consommation en eau et on obtient une réduction l'évapotranspiration par rapport à l'ETM, valeur maximale qu'elle pourrait atteindre en l'absence de toute contrainte. On obtient une valeur de l'évapotranspiration appelée alors ou évapotranspiration réelle (ETR).

La pluviométrie constitue en culture sèche (ou pluviale), l'offre principale pour l'alimentation hydrique des plantes. La durée du cycle des précipitations commande chez le producteur le choix des variétés et des dates de semis, afin de prévenir tout risque de stress hydrique en cours de végétation et, principalement, pendant les phases critiques.

### 1.1.2. LES FACTEURS LIES AU SOL.

En ce qui concerne l'alimentation en eau des plantes, le sol joue le rôle d'un réservoir étanche qui ne laisse prélever l'eau que sous certaines conditions (d'At de Saint Foulc, 1967). L'analyse de ce réservoir sol donne deux valeurs de références de son humidité (CEMAGREF, 1990) :

- une borne haute dite «capacité au champ». *Elle correspond théoriquement à un sol plein d'eau ;*
- une borne basse dite «point de flétrissement». Elle est atteinte lorsque l'eau restant dans le sol n'est plus accessible à la plante.

Entre ces deux extrêmes on distingue la réserve utile (RU). La structure, la texture, la profondeur et la matière organique du sol conditionnent l'importance de la réserve utile et présentent une forte variabilité dans les champs (Reyniers et Forest, 1990). La réserve utile racinaire (RUR) correspond à la valeur de la RU sur la profondeur de sol colonisée par les racines. Ce facteur intègre des éléments liés au sol et à la plante et se définit comme étant le volume du réservoir à eau du sol exploité par les racines de la culture.

Enfin, les propriétés hydrodynamiques conditionnant l'infiltration des eaux de pluies et d'irrigation, les remontées capillaires et l'accessibilité de l'eau aux racines, sont à considérer.

### 1.1.3. LES FACTEURS LIES A LA PLANTE.

L'alimentation correcte en eau d'un couvert végétal, à partir des réserves en eau du sol, doit permettre d'assurer à l'ensemble des plantes de ce couvert un état hydrique satisfaisant malgré les pertes d'eau par évaporation (sol) et par transpiration (plantes) dont ce couvert fait l'objet sous l'action du climat (Thevenet et couvreur, 1978). Les quantités d'eau ainsi cédées par le sol et les plantes sont fonction de la demande climatique qui les engendre et de l'approvisionnement en eau du sol.

L'eau absorbée par un végétal est donc non seulement nécessaire pour son alimentation hydrique et le transport des substances minérales de la sève brute et des substances organiques de la sève élaborée, mais également pour la régulation thermique de la plante. Elle est presque entièrement évaporée au niveau des feuilles pour répondre à la demande climatique.

Le rôle de l'enracinement comme facteur déterminant de l'alimentation hydrique, a été confirmé par beaucoup d'auteurs (Baldy, 1985 ; Doorenbos et Pruit, 1986). Les caractéristiques de l'enracinement (extension horizontale, profondeur, densité, etc.) sont

déterminées par les caractères génétiques de la plante (espèce et variété) ainsi que par la texture et la structure du sol, la présence ou non de couches imperméables, la profondeur de la nappe phréatique, le niveau de l'eau disponible dans le sol au moment du développement des racines, etc. On constate donc que les conditions de cultures peuvent également influencer l'enracinement, notamment par la modification de la structure du sol.

D'autres caractères génétiques influencent également les besoins en eau des cultures. En effet, plus les feuilles de la plante sont larges et abondantes, et le nombre des stomates élevé, plus ces besoins sont importants.

La durée du cycle et celle des différentes phases de développement des plantes influent également sur leur alimentation hydrique. Une variété tardive aura plus de difficulté qu'une variété hâtive à boucler son cycle en cas d'installation capricieuse des pluies. Par ailleurs, il existe, au cours du cycle, des périodes dites critiques pour l'alimentation hydrique des cultures et dont la longueur varie en fonction de l'espèce et de la variété cultivée (Soltner, 1990 ; Angladette, 1966).

La période où une sécheresse peut perturber le plus la mise à fleurs, la fécondation et donc le rendement, est dite période critique. Elle est d'autant plus courte que la plante n'émet qu'une seule inflorescence ou épi (cas du maïs) et d'autant plus longue que sa floraison est étagée (sorgho, cotonnier). Elle correspond à des stades végétatifs différents suivant les espèces. La période critique n'est pas celle où la plante consomme le plus d'eau, mais celle où elle ne peut pas supporter un déficit hydrique. On observe sans que l'on puisse l'énoncer comme une règle stricte que :

- pour les plantes dont on récolte le fruit (certaines cultures maraîchères, banane, agrume) ou la graine (céréales), la période de formation des ébauches florales correspond à une période critique ;
- cette période critique est suivie d'une période plus ou moins sensible (nouaison, grossissement du fruit ou du grain).

## **1.2. LA NOTION DU BILAN HYDRIQUE.**

Le bilan hydrique correspond à la somme de tous les gains et de toutes les pertes d'eau se produisant pendant une période donnée dans la zone racinaire. Sa connaissance permet de déterminer la pluie utile, c'est-à-dire celle réellement mise à la disposition des cultures. Somé (1989) la schématise à l'échelle de la parcelle de culture comme étant égale à la quantité totale de pluie reçue moins la partie ruisselée en dehors du champ, moins la partie infiltrée au-

delà du front d'enracinement de la culture, plus le ruissellement en amont. La pluie utile renseigne sur la quantité d'eau qui servira à l'alimentation hydrique des cultures et est caractérisée par l'ETR. Le bilan hydrique s'estimera donc en faisant la balance entre les flux entrants (apports) et sortants (pertes). Ceci va être représenté par :

- des apports qui correspondent aux précipitations, aux remontées capillaires et aux ruissellements en provenance de l'amont ;
- des pertes qui sont le drainage, le ruissellement en aval et l'évapotranspiration

### **1.3. L'IMPACT DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LES CULTURES.**

L'eau absorbée par une plante n'entre pas entièrement dans sa constitution. En effet, l'essentiel (98 %) de l'eau consommée est rejetée dans l'atmosphère par transpiration (Ministère français de la coopération, 1979).

La sécheresse correspond à un déficit hydrique qui affecte la production de la culture et qui se traduit par une chute de rendement. Du point de vue agronomique, il y a sécheresse dès lors que l'eau devient un facteur limitant de la croissance et du rendement d'une culture. Le stress hydrique désigne un ensemble de symptômes morphologiques, physiques et physiologiques décelables sur la plante et consécutifs à un déficit hydrique plus ou moins prolongé. D'une manière générale, un végétal subit un déficit hydrique lorsque le flux d'eau entrant dans ses feuilles est inférieur au flux d'eau qui en sort par transpiration (Zomboudré, 1991).

Très souvent, le manque d'eau agit défavorablement sur la mise à fleurs, en limitant le nombre d'ébauches florales formées ou le nombre de fleurs fécondées. Tout se passe comme si la plante atteinte par la sécheresse limitait d'elle-même les fleurs, donc les futurs fruits ou grains qu'elle aura à nourrir (Soltner, 1987).

#### **1.3.1. LES CONSEQUENCES DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT.**

Le déficit hydrique au niveau d'une culture peut être estimé à partir de l'évapotranspiration. Selon Somé *et al.* (1994), l'ETR traduit la quantité d'eau qui a effectivement passé par la plante vers l'atmosphère, au niveau de l'interface entre le couvert végétal et l'air ambiant. L'ETM correspond à l'ETR dans les conditions d'une alimentation hydrique sans contrainte. Darpoux et Debelley (1967), citant Robelin (1963) indique que pour une espèce donnée, la réduction du flux de vapeur d'eau et de gaz carbonique est la même ; il

en résulte que les phénomènes d'évapotranspiration et de photosynthèse apparaissent comme proportionnels :

$$(MS_0 - MS) / MS_0 = (ETM - ETR) / MS$$

Avec

MS <sub>0</sub>	: production de matière sèche à l'ETM
MS	: production de matière sèche à l'ETR
ETR	: évapotranspiration réelle
ETM	: évapotranspiration maximale

Il existerait donc une corrélation entre la transpiration de la plante et la quantité de matière sèche formée. Le rendement d'une culture est d'autant plus élevé que l'ETR est grande. Il atteindra son niveau maximal lorsque celle-ci sera égale à l'ETM. Le déséquilibre qui résultera d'un manque d'eau, provoquera la fermeture progressive des stomates, laquelle entraînera une réduction de la photosynthèse. La croissance des plantes et le rendement des cultures en sont d'autant plus affectés que le déficit est prononcé. Cette réduction du rendement par manque d'eau est variable selon la période végétative. Elle est plus grave si le déficit hydrique coïncide avec une période critique. Il existe par ailleurs des périodes de moindre sensibilité, au cours desquelles l'effet sur le rendement final, d'un rationnement en eau, est également important, mais de façon moindre (Robelin, 1963 et 1983, cité par Sanou, 1991).

### **1.3.2. LES MECANISMES D'ADAPTATION DE LA PLANTE A LA SECHERESSE.**

Le manque d'eau peut entraîner un changement comportemental chez la plante qui cherche alors à s'adapter à cette nouvelle condition environnementale. Pour les cultures dont les fruits constituent les produits recherchés, Soltner (1986) indique qu'elles ont de faibles possibilités de rattrapage du rendement, même si une période humide succède à une période sèche frappant la plante en période critique, car la sécheresse aura perturbé non seulement la croissance mais aussi le développement même des organes floraux. Par contre, d'autres cultures ont de bien meilleures possibilités de rattrapage : ce sont soit les plantes qui ont une floraison étagée, soit celles dont on récolte non pas les graines mais les organes végétatifs.

La réponse de la plante au stress hydrique se présente sous des formes variées en fonction des caractères génétiques de la plante et de l'intensité du déficit. Tuner (1986), cité par Raissac (1992), identifie trois grands types de réponse à la sécheresse : l'esquive, l'évitement de la déshydratation et la tolérance à la déshydratation.

### **1.3.2.1. *l'esquive.***

Les plantes pouvant esquiver la sécheresse ont la capacité de réaliser leur cycle complet avant la manifestation d'importants déficits hydriques du sol (Annerose et Cornaire, 1991). La précocité constitue un phénomène d'esquive bien souvent retenu dans les critères de sélection des variétés par rapport à la sécheresse. La plasticité de développement des plantes cultivées peut également conduire à une meilleure coïncidence entre les besoins en eau de la plante et les apports hydriques

### **1.3.2.2. *L'évitement de la déshydratation.***

L'évitement consiste, pour la plante, à maintenir un état hydrique interne satisfaisant en présence d'une contrainte hydrique externe. L'évitement se présente sous deux formes :

- **le maintien de l'absorption malgré le déficit hydrique.**

Cette forme comprend aussi bien l'augmentation de la profondeur et de la densité racinaire que l'augmentation de la conductance hydraulique (force de succion élevée). L'importance du système racinaire est reconnue par Soltner (1992) qui soutient que les conséquences du manque d'eau dépendent aussi de l'aptitude de la culture à puiser l'eau dans le sol ;

- **la réduction des pertes d'eau.**

Un contrôle stomatique de la transpiration, une résistance cuticulaire élevée et la possibilité d'une réduction plus ou moins réversible des surfaces transpirantes et des radiations interceptées constituent les principaux mécanismes adaptatifs permettant à la plante de réduire les pertes d'eau. Cette partie comprend la fermeture des stomates, l'enroulement ou la chute des feuilles pour réduire la surface transpirante et l'épaississement de la cuticule.

### **1.3.2.3. *La tolérance du déficit hydrique.***

Elle permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne consécutive à la sécheresse. Sur le plan agronomique où la préservation de l'état productif est primordiale dans le mécanisme d'adaptation à la sécheresse, seuls les mécanismes d'esquive et de maintien de l'absorption d'eau présentent un intérêt. Par contre, les phénomènes de réduction des pertes d'eau, d'ajustement osmotique et de tolérance à la dessiccation, qui entraînent une réduction de la photosynthèse, ne sont pas automatiquement transposables dans le cadre agronomique.

### **1.3.3. LES METHODES DE LUTTE CONTRE LE DEFICIT HYDRIQUE.**

L'alimentation en eau selon Baldy (1985), doit être assurée sans défaillance. Pour ce faire, on doit améliorer la mise en réserve de l'eau dans le sol et favoriser sa mise à la disposition des plantes, en appliquant des techniques culturales appropriées, et un assolement économe de l'eau.

La diminution de la demande climatique (ETP) et l'augmentation de l'offre en eau (ETR) qui dépend surtout du bon approvisionnement en eau de la plante constituent pour Darpoux et Debelley (1967) des moyens de lutte contre le déficit hydrique. A ces propositions on peut ajouter la sélection variétale.

#### ***1.3.3.1. La diminution de la demande climatique.***

Bien qu'il soit difficile d'agir sur le climat, il existe quelques moyens pour abaisser localement la demande climatique. Il s'agit :

- des brise-vent : le vent a généralement pour effet, comme le soutient Ducrocq (1990), de favoriser l'évaporation, particulièrement en remplaçant l'air humide situé au contact des surfaces évaporantes par des masses d'air plus sèches. En diminuant la vitesse moyenne du vent, et par la même voie le renouvellement de l'air humide par de l'air sec, un brise-vent permettra de réduire nettement l'ETP pendant les mois chauds et secs. Cette réduction peut atteindre 30 % à proximité du brise-vent et on évite ainsi une ETP trop élevée (Castellanet, 1992).

- des cultures associées : composées de plantes à enracinement et à "étages" de feuilles différentes, cette technique décrite par Ducrocq (1990) se fonde sur la réflexion suivante : les réserves en eau des différentes couches de sol sont mieux utilisées, ce qui augmente en particulier la transpiration des plantes "basses", avec une diminution du pouvoir évaporant de l'air pour les étages les plus élevés. Cet effet a été observé par l'auteur dans les oasis entre les cultures maraîchères et les palmiers.

#### ***1.3.3.2. L'augmentation de l'offre ETR.***

L'augmentation de l'ETR passe par un ensemble de pratiques culturales qui améliorent la rétention en eau du sol par une réduction du ruissellement et une augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol et qui permettent un enracinement profond et étendu. Baldy (1985) note qu'il est possible de parvenir à une augmentation de l'ETR en utilisant des

pratiques permettant d'économiser de l'eau par une réduction de l'évaporation au niveau du sol.

Tout ce qui favorise le développement du système racinaire (Ducrocq, 1990) aura des effets bénéfiques sur l'absorption de l'eau par les plantes. Par exemple :

- le désherbage et le démariage, pour éviter entre les racines une concurrence trop forte autour de l'eau ;
- le labour profond, le sous-solage, le défrichement : ces travaux ameublissent le sol en profondeur, éliminent les racines des mauvaises herbes et facilitent ainsi la croissance des racines "utiles" ;
- la confection de cordons pierreux et de diguettes pour améliorer le stockage et l'infiltration de l'eau de pluie ;
- le binage pour diminuer les pertes par évaporation à partir du sol nu ;
- les techniques de paillage, d'aération et d'ameublissement du sol obtenus par les labours.

Une toute autre technique qui permet une augmentation de l'ETR est l'irrigation de complément. Ce type d'irrigation encore appelé irrigation d'appoint, est pratiquée contre les aléas des pluies (Zomboudré, 1991). Elle permet ainsi de sécuriser les rendements et de minimiser les effets néfastes de la sécheresse sur les cultures. Elle comble le déficit hydrique créé au niveau de la plante et du sol. C'est une technique qui présente un intérêt particulier dans les zones à pluviométrie erratique mais dont les disponibilités en eau permettent dans une certaine mesure l'exploitation de cette ressource pour les cultures pluviales strictes.

### **1.3.3.3. La sélection variétale.**

Selon Sanou (1991), les sélectionneurs (Blum, 1983 ; Rosenow, 1983) et les physiologistes (Bidinger *et al.*, 1982, cité par Ludlow *et al.*, 1990 ; Garrity *et al.*, 1982) pensent en effet qu'il est nécessaire d'identifier et d'utiliser les gènes impliqués dans les caractères de tolérance ou de résistance étudiés en physiologie afin d'entreprendre avec de fortes chances de succès la création de génotypes adaptés à la sécheresse. Des sélections ont déjà été réalisées sur cette base (Dabiré, 2000). Ces sélections sont surtout basées sur la recherche de variétés plus ou moins résistantes à la sécheresse selon les différents concepts exposés plus haut. Cela permet aux cultures de maintenir un niveau de production encore acceptable.

## CHAPITRE 2: CARACTERISTIQUES DES TROIS CULTURES ETUDIEES.

### 2.1. LE RIZ PLUVIAL.

Le riz appartient à la famille des graminées et au genre *Oryzae*. On distingue 2 espèces cultivées qui sont *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa*. (qui comprend les sous espèce *O. japonica* et *O. indica*). Selon Doorenbos et Kassam (1987), en règle générale, le riz *O. indica* est cultivé sous les tropiques humides tandis que le riz *O. japonica* convient mieux aux climats tempérés et subtropicaux.

La période végétative totale est d'environ de 90 à 150 jours selon la variété, la température et la sensibilité à la durée du jour.

D'une façon générale (Mayer et Bonnefond, 1973) on peut admettre comme ordre de grandeur de l'évapotranspiration du riz 700 à 850 mm d'eau (ce qui interdit la culture du riz pluvial sous les isohyètes inférieures à 950 mm) dans la mesure où toute la pluie tombée n'est pas profitable pour la culture. Au Burkina Faso, les variétés de riz pluvial de 90 et 100 jours peuvent être cultivées dans les zones où la pluviométrie est supérieure à 800 mm.

### 2.2. LE MAÏS.

Le maïs appartient à la grande famille des graminées (Darpoux et Debelley 1967), au genre *Zea* et à l'unique espèce *Zea mais* ; c'est une plante dioïque à fécondation croisée.

La longueur du cycle varie de 75 à 84 jours pour les variétés hâtives, de 95 à 110 jours pour les variétés à cycle intermédiaire et est supérieure à 110 jours pour les variétés tardives.

Au Burkina Faso, les besoins en eau du maïs sont estimés à plus de 600 mm pour une variété de 120 jours. Ces besoins varient en fonction de la variété. En raison de ses exigences en eau, le maïs est surtout cultivé dans la région Ouest du pays (Somé, 1989 ; Dabiré, 2000) La période critique de sensibilité à la sécheresse du maïs comme l'indique Soltner (1990) se situe 15 jours avant et 15 jours après la floraison. En effet, selon cet auteur, près de 45 % des besoins en eau sont absorbés pendant cette période.

### 2.3. LE COTONNIER.

Le cotonnier est une plante dicotylédone dialypétale. Il appartient à l'ordre des Malvales, à la famille des Malvacées, à la sous famille des Hibiscus et au genre *Gossypium* L. Il existe quatre (4) espèces cultivées, mais au Burkina c'est essentiellement *Gossypium hirsutum* qui est exploitée. Les trois (3) autres espèces sont *G. arboreum*, *G. herbaceum*, *G. barbadense*.

Le cycle de développement des cotonniers, actuellement vulgarisés implique une possibilité de récolte entre 110 et 120 jours après le semis. Au 150<sup>ème</sup>, 160<sup>ème</sup> jour, toutes les capsules sont ouvertes. La zone de production du coton au Burkina s'est déplacée des régions du centre vers celle de l'Ouest où le régime pluviométrique se présente mieux (Dakouo, 1994).

Selon le climat et la longueur du cycle végétatif, les besoins en eau du cotonnier se situent entre 700 à 1300 mm d'eau. Les besoins en eau de la culture sont importants pendant la période de la floraison, quand la surface foliaire est à son maximum, et représentent quelque 50 à 60 % des besoins totaux (Doorenbos et Kassam, 1987).

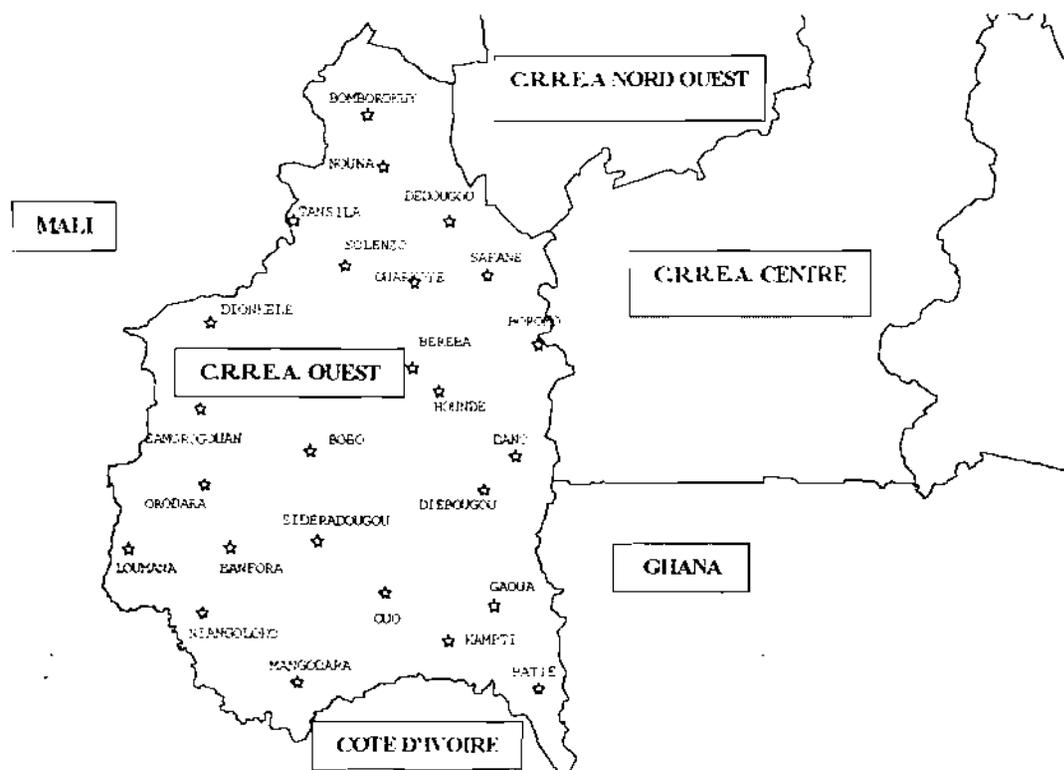
## CHAPITRE 3 : LE CONTEXTE DE LA ZONE ETUDIEE : LA REGION OUEST DU BURKINA FASO.

Le Burkina Faso est un pays situé dans la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Il est compris entre les latitudes 9° et 15° nord et les longitudes 6° ouest et 20°30 Est. La présente étude porte sur la région Ouest du pays.

### 3.1. LE CADRE PHYSIQUE.

La région Ouest est située entre les latitudes 9° nord et 13°30 nord. Elle correspond à la zone couverte par les activités du CRREA de l'Ouest et couvre les régions agricoles suivantes : la région de la Comoé, des Hauts Bassins, du Mouhoun (les provinces du Sourou et du Nayala exclues) et du Sud-ouest (carte 1). Elle occupe une superficie de 58000 km<sup>2</sup> et regroupe 15 provinces.

**Carte 1:** La zone Ouest du Burkina Faso et stations prises en compte dans l'étude



### 3.1.1. LE CLIMAT.

L'ensemble du pays se situe en région tropicale dans la zone à pluviométrie comprise entre 250 et 1200 mm par an. Il est sous l'influence de deux zones de hautes pressions ou anticyclones. La première, centrée sur le Sahara génère une masse d'air chaud et sec de novembre à avril (harmattan de direction nord-est). La seconde, centrée sur l'Atlantique sud apporte sur le continent de l'air frais et humide de mai à octobre (mousson de direction sud-ouest). Le climat de la sous-région est fonction de l'interaction de ces deux masses d'air (zone de convergence) et du front inter tropical qui correspond au tracé au sol de la rencontre entre l'anticyclone du Sahara et de Saint Hélène (FIT).

Tout cela traduit sur le pays un contraste climatique saisonnier qui impose et rythme les activités agricoles (Somé, 1989).

La région Ouest du Burkina est couverte par deux zones climatiques (INERA, 1994) :

- la zone nord -soudanienne comprise entre les isohyètes 600 et 900 mm. Cette zone occupe la moitié Nord de la région avec une saison des pluies de 4 à 5 mois (de fin mars à début octobre)
- la zone soudanienne délimitée par les isohyètes 900 et 1200 mm. Elle appartient à la partie la plus humide du pays avec une saison des pluies qui dure 6 mois et avec des maxima pouvant aller jusqu'à 1200 mm d'eau par an (de fin avril à début novembre).

#### 3.1.1.1. Les précipitations.

A l'instar de l'ensemble du pays, la région Ouest se caractérise par une seule saison pluvieuse et une seule saison sèche. La saison pluvieuse débute de façon progressive du sud vers le nord. Ainsi, selon Diop *et al.* (1999), la saison des pluies s'installe entre le 24 avril au Sud et le 24 mai au Nord de la zone, une année sur deux. De même, une année sur deux, la fin des pluies intervient entre le 15 novembre au sud et le 10 octobre au Nord.

Le volume pluviométrique présente également une régression du sud vers le nord. En moyenne (50 % des cas), cette pluviométrie décroît de 1100 mm au sud à 750 mm au Nord. Les mois les plus pluvieux sont juillet, août et septembre. Au-delà de ces mois, les précipitations régressent, ce qui donne à la pluviométrie de la région son caractère unimodal.

L'essentiel de l'activité agricole a lieu pendant l'hivernage. La durée de cette période est relativement courte et décroît du sud vers le nord : 175 jours à Batié, 170 jours à Bobo et 115 jours à Bomborokuy (Somé et Sivakumar, 1994)

Le cycle des cultures pluviales pratiquées dans chaque localité de la zone doit tenir compte de ces variables.

### **3.1.1.2. L'humidité et le vent.**

L'humidité relative diminue du sud au nord suivant ainsi l'évolution de la pluviométrie. Elle est faible pendant la saison sèche (décembre à mars) où elle descend entre 10 à 40 %. Elle s'élève pendant la saison pluvieuse où elle atteint 60 à 90 %. L'humidité relative moyenne de l'air est de 50 %. Elle atteint son maximum (80 %) en octobre et son minimum (18-20 %) en janvier, février.

La vitesse moyenne du vent est relativement faible. Elle oscille entre 1 et 3 m/s pendant toute l'année. Elle est généralement réduite entre juillet et septembre.

### **3.1.1.3. L'insolation et la température.**

Pour l'ensemble de la zone, les valeurs de l'insolation moyenne restent voisines de 8 heures par jour sauf en juillet, août et septembre où elles sont pratiquement inférieures à 7 heures par jour.

La température moyenne est de 27 °C avec une amplitude thermique annuelle de 5 °C. Par exemple les écarts diurnes à Bobo Dioulasso varient de 7°8 en août à 14°4 en janvier.

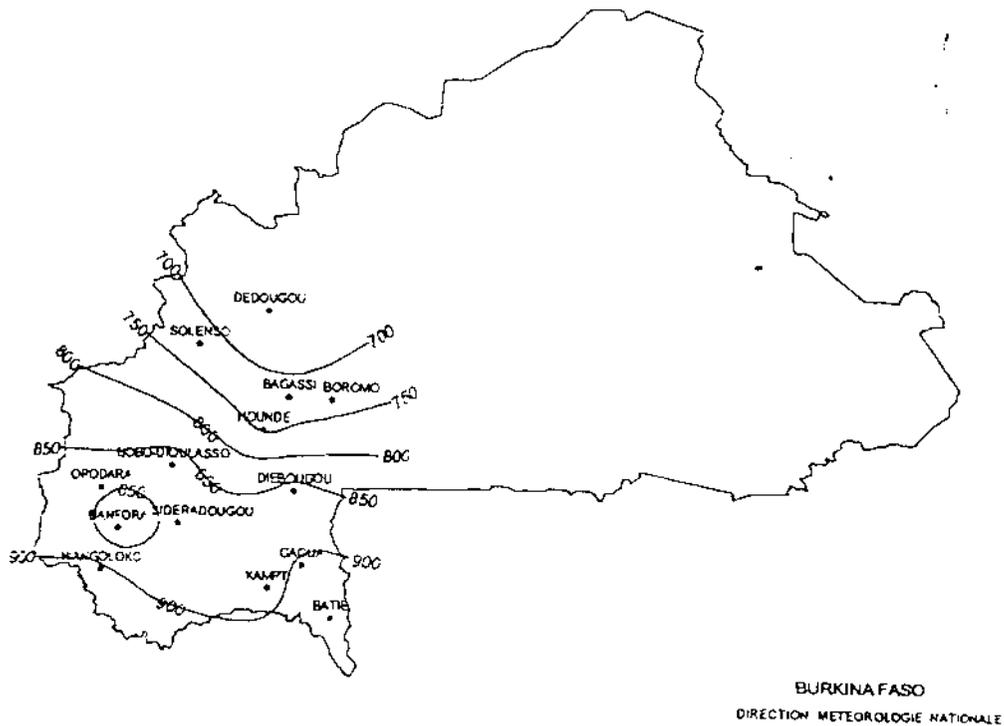
### **3.1.1.4. La péjoration climatique.**

Selon Dakouo (1994), on peut dire que les quantités d'eau tombées annuellement dans l'Ouest du Burkina (principalement dans sa partie sud) sont suffisantes pour assurer une bonne production cotonnière et céréalière. Mais la mauvaise répartition des pluies en début et en fin de saison pluvieuse compromettent fréquemment les productions agricoles.

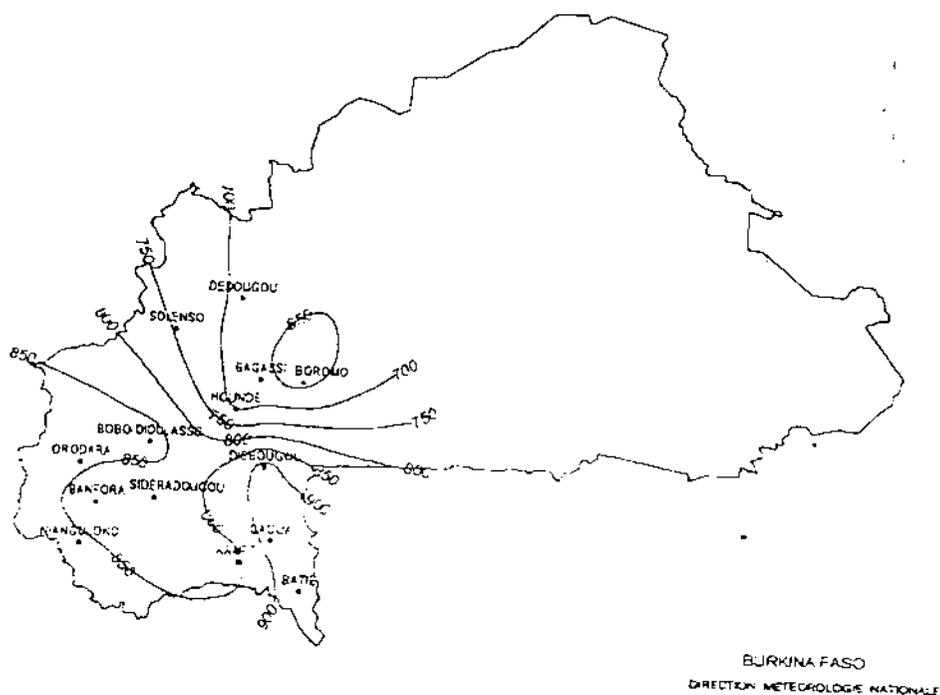
La tendance générale de l'évolution climatique est souvent reflétée par les variations des fractions pluviométriques. Ainsi, l'analyse de l'évolution des fractions pluviométriques sur la période 1922-1987 a révélé que si les pluies inférieures à 20 mm n'ont pas subi de variations notables durant cette période, celles qui sont supérieures à 40 mm ont connu par contre une forte diminution très bien corrélée à la diminution du total pluviométrique annuel (Somé, 1989 ; Albergel *et al*, 1985 cités par Dembélé, 1995).

Une autre analyse plus récente réalisée par Mugishawimana (2000) dans la région Ouest du pays confirme cette tendance de l'évolution climatique. Les cartes 2 et 3 qui représentent respectivement la pluviométrie d'occurrence 8 sur 10 ans de la série 1969-1998 et la pluviométrie d'occurrence 8 sur 10 ans de la décennie 1989-1998, illustrent les résultats qu'il a obtenus.

**Carte 2:** Pluviométrie d'occurrence 8 ans sur 10 de la normale 1969-1998



**Carte 3:** Pluviométrie d'occurrence 8 ans sur 10 de la décennie 1989-1998



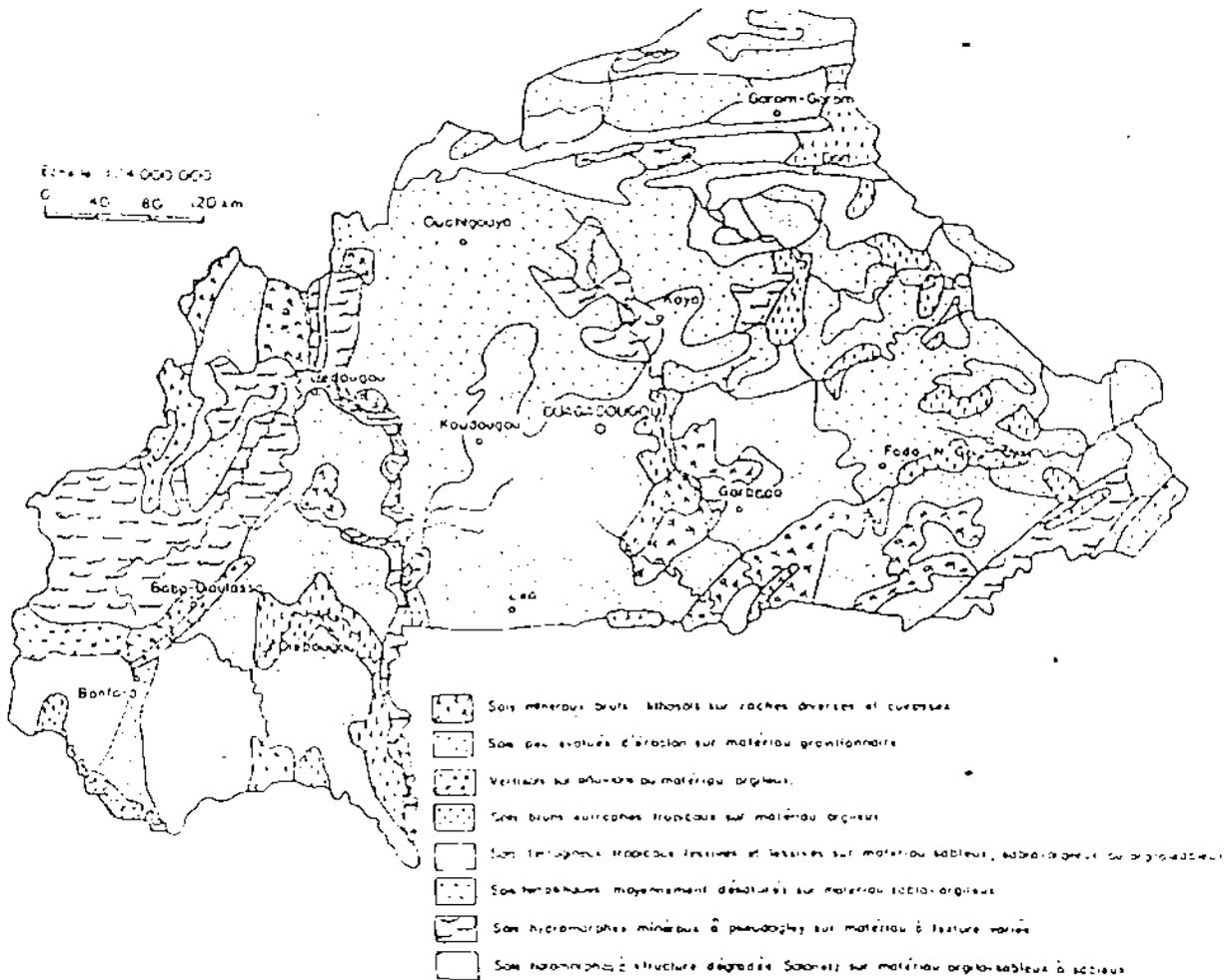
Dans la décennie (Carte 3), la récession des conditions pluviométriques et la grande variabilité spatiale dans la zone d'étude sont remarquables. Bagassi et Boromo encadrés par les isohyètes 700 et 750 mm dans la série (Carte 2), se retrouvent entre les isohyètes 650 et 700 mm dans la décennie. On remarque une grande progression latitudinale vers le sud de l'isohyète 850 mm, ce qui met Sidéradougou, Banfora et Kampti entre les isohyètes 800 et 850 mm alors qu'ils sont entre 850 et 900 mm dans la série.

Les conséquences d'une telle situation pour la production végétale sont si énormes qu'il faut un changement d'attitude dans les itinéraires techniques des cultures et dans les comportements vis à vis de l'environnement pour assurer le maintien de ces productions.

### 3.1.2. LES SOLS.

Les études pédologiques réalisées et publiées sur le Burkina Faso (BUNASOLS, 1985) présentent les principales familles de sols de la région Ouest. Ces études ont permis de réaliser la carte pédologique du pays. On dénombre au total huit unités de sols (Carte 4).

**Carte 4:** Sols du Burkina



La région Ouest du Burkina Faso est caractérisée par la prédominance des sols ferrugineux sur matériaux variés, les sols hydromorphes et les sols bruns eutroques.

Les sols ferrugineux occupent presque toute la partie Sud, Sud-Est et Est de la région. Les sols hydromorphes se rencontrent surtout dans la partie Ouest de la région, le long des cours d'eau (vallées alluviales, bas fonds), principalement sur la Boucle du Mouhoun et les grandes plaines déprimées. Les sols bruns eutroques occupent l'extrême est de la région et

une portion de la partie centrale. Des enclaves d'autres types de sols sont également observables (lithosols, vertisols sur alluvions...).

Dakouo (1991) et Somé (1992) ont réalisé des études qui ont permis de déterminer les caractéristiques de ces sols.

### ***3.1.2.1. Les caractéristiques chimiques des sols.***

Les sols situés en position d'interfluve sont pauvres en matière organique, ce qui a des conséquences néfastes sur la nutrition azotée mais également sur les propriétés physiques de ces sols.

Le complexe d'échange des sols ferrugineux est faible en raison de la présence d'argiles de type kaolinitique à faible capacité d'échange et la pauvreté de ces sols en matière organique. Ce sont des sols qui apparaissent généralement neutres en condition naturelle mais qui sont susceptibles d'être rapidement acidifiés par l'utilisation inconsidérée d'engrais chimiques (à cause de leur faible capacité d'échange).

Les sols bruns eutrophes et les vertisols sont chimiquement riches du fait de leur forte capacité d'échange. Ils sont caractérisés par une importante proportion en minéraux argileux gonflants (argiles montmorillonitiques). Néanmoins, les sols bruns eutrophes se différencient des vertisols par les horizons moins compacts, une faible teneur en argile, une teneur en matériaux grossiers plus élevée et une meilleure porosité. Ces sols constituent les meilleurs sols du Burkina.

Les sols hydromorphes ont généralement des propriétés héritées des matériaux déposés (influence des sols situés en amont). Ils sont, lors des premières pluies, enrichis superficiellement en matière organique par l'apport de pailles et de débris végétaux variés qui jonchent les sols des interfluves en fin de saison sèche.

### ***3.1.2.2. Les caractéristiques physiques des sols.***

Les sols peu évolués sont souvent associés aux sols ferrugineux. Leur profondeur est variable avec une carapace qui apparaît souvent vers 40 cm, limitant l'enracinement et la réserve utile en eau du sol. Il existe fréquemment un gradient de profondeur utile et donc de réserve en eau du sol en fonction de la position dans le paysage ; les sols situés en bas de pente sont plus profonds.

Les sols bruns eutrophes et les vertisols ne présentent pas de problème de ce genre. Par contre, dans les bas fonds (sols hydromorphes), la profondeur utile est limitée pour les cultures courantes par la présence d'une nappe phréatique superficielle en saison des pluies.

La texture des sols ferrugineux (riches en sables fins et en limons) les rend susceptibles à la fois à l'érosion pluviale et à l'arrachement des particules. La réserve en eau est également influencée par la texture. En raison de leur nature sableuse, ces sols sont plus faciles à travailler que les sols argileux (sols bruns eutrophes et vertisols) mais le drainage peut y être excessif. Les sols argileux ont par contre une infiltration limitée et sont plus difficiles à travailler.

### 3.1.3. LA VEGETATION.

Guinko (1989) a proposé un découpage phytogéographique du pays qui situe la région Ouest dans le domaine soudanien et la subdivise en secteur soudanien septentrional et en secteur soudanien méridional.

La végétation de la région (sa partie sud notamment) est la plus dense du pays. Il s'agit d'une savane comportant tous les sous-types, depuis la savane boisée et la forêt claire jusqu'à la savane herbeuse. Les essences ligneuses qu'on y rencontre sont essentiellement *Acacia albida*, *Adansonia digitata*, *Butyrospermum paradoxum*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Isobertinia doka*, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia polyantha*, *Lamea microcarpa*, etc. La strate herbacée est dense et continue. On y distingue des espèces telles que *Andropogon gayanus*, *Loudetia togoensis*, *Cenchrus biflorus*, etc.

Cette végétation (Somé, 1989) 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.

### 3.1.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE.

La région Ouest possède les points les plus élevés du Burkina Faso et est par ailleurs la plus arrosée. Cette situation lui confère un important réseau hydrographique. Les principaux cours d'eau du pays prennent leur source dans cette région constituée par les bassins versants du Mouhoun, de la Comoé et de leurs affluents.

Le Mouhoun prend sa source sur le versant Nord des falaises de Banfora et reçoit au-delà de Dédougou, le Sourou, son plus grand affluent (présentement, les eaux du Mouhoun sont détournées pour assurer la vie des aménagements sur les rives du Sourou).

La Comoé, dont le bassin couvre 18000 km<sup>2</sup>, prend sa source également dans les falaises de Banfora. Son cours, coupé par des rapides et des chutes, communique avec des mares permanentes situées au pied des falaises de Banfora (le lac de Tingréla, de Karfiguèla et de Lenouroudougou.)

Les rivières de la région, dont la plupart ont un écoulement permanent, offrent des sites favorables à la création d'aménagements hydro-agricoles destinés à l'irrigation, donc au développement de culture irriguée principalement la riziculture. Avec un développement des moyens financiers et techniques, on pourrait envisager leur exploitation pour une irrigation de complément des cultures pluviales strictes, situées en bordure des cours d'eau. Ceci pourrait être envisagé pour résoudre les déficits hydriques intervenant surtout pendant les périodes critiques. Mais sachant que la mobilisation d'une ressource complémentaire en eau présente un coût, il faudra d'abord chercher comment raisonner l'acquisition de cette ressource au regard de l'augmentation attendue de la production.

## **3.2. LES POPULATIONS ET LEURS ACTIVITES.**

### **3.2.1. LES POPULATIONS.**

L'Ouest du Burkina est habité par une mosaïque d'ethnies autochtones. En outre, attirés par les énormes potentialités agroclimatiques, de nombreux agriculteurs et éleveurs des zones les moins favorisées du plateau central et du Nord s'y sont installés. C'est ainsi qu'on y trouve une diversité ethnique encore plus grande comprenant les Bobo, les Bwa, les Mossi, les Peul, les Samo, les Dagara, les Dioula, les Lobi, les Sénoufo, les Dafing, les Natioro, les Gouin, les Toussian, etc.

### **3.2.2. LES PRINCIPALES ACTIVITES.**

La principale activité économique est constituée par l'agriculture pratiquée par les populations sédentaires. Elle se pratique essentiellement pendant l'hivernage sur les terres hautes et des bas-fonds (aménagés ou non). En saison sèche, elle se poursuit dans les périmètres irrigués (vallée du Kou) et les jardins maraîchers.

L'élevage, surtout pratiqué par les paysans semi-nomades peuls, arrive en deuxième position.

La production agricole de la région est généralement excédentaire et est parfois exportée (excédent céréalier) vers les autres régions du pays mais aussi vers d'autres pays. La région réalise à elle seule 90 % de la production cotonnière nationale.

L'activité agricole présente le niveau d'intensification le plus élevé du pays en raison de la pratique de la culture cotonnière. Elle bénéficie par ailleurs d'un important encadrement technique avec la présence de structures de recherche (INERA, CIRDES), de vulgarisation (DRA, DRRA, SOFITEX) et de différents projets qui interviennent dans le domaine de la gestion du terroir et des cultures irriguées (PSSA, PAFR)

### 3.3. LE CONTEXTE DE LA PRODUCTION DES TROIS CULTURES ETUDIEES DANS LA REGION OUEST DU BURKINA FASO.

#### 3.3.1. LE RIZ PLUVIAL.

Le riz occupe la quatrième place parmi les céréales cultivées au Burkina (Tableau I et II) après le sorgho, le mil et le maïs, tant pour la superficie que pour la production. Il en est de même de son utilisation puisque, selon une étude de l'ADRAO (Séré, 1996), les 179 kg de céréales consommés en moyenne par habitant et par an se composent de 155 kg de sorgho et de mil, de 13 kg de maïs et de 11 kg de riz.

Cependant, le riz est une céréale qui est d'une importance économique considérable pour le pays. En effet, selon Zomboudré (1991), la demande de riz ne cesse de croître au Burkina Faso tandis que la production nationale stagne, voire régresse. De ce fait, les importations pour satisfaire cette demande s'accroissent de façon vertigineuse. L'insuffisance de la production a conduit le pays à importer pour 14,8 milliards de francs CFA de riz en 1986 (Séré, 1996).

**Tableau I:** superficies et consommation des principales céréales au Burkina

Céréale	Superficie (%)	Consommation	
		Kg/an/habit.	%
Sorgho	51,6	155	86,6
Mil	36,4		
Maïs	09,6	13	07,3
Riz	02,4	11	06,1

Source : Projet BFK 89/023

Le riz pluvial concerne le mode de production pour lequel l'alimentation en eau est assurée exclusivement par les eaux de pluies. Il ne s'agit pas d'un mode traditionnel de culture au Burkina Faso. En effet, le riz pluvial a été introduit au début des années 1970 par l'INERA dans les régions où les pluies atteignent ou dépassent une hauteur annuelle de 800 mm.

Dans la région Ouest où la pluviométrie est satisfaisante pour les variétés à cycle court proposées par le Programme riz de l'INERA, il existe de grandes superficies cultivées en coton. Or cette culture est reconnue comme étant un bon précédent cultural pour le riz pluvial. Les tests réalisés par le Programme riz de l'INERA et l'engouement des paysans de la zone pour le riz pluvial augurent d'un avenir certain pour ce type de riziculture. Selon Zomboudré (1991), ce mode de production du riz constitue un moyen de freiner les sorties de devises. Il viendra certainement en complément à la riziculture irriguée d'autant plus que celle-ci est confrontée à des coûts élevés des aménagements et de l'énergie, à l'exiguïté des ressources en eau du pays, à la diminution des débits des cours d'eau du fait de la baisse de la pluviométrie. Par ailleurs la riziculture irriguée est reconnue comme nécessitant beaucoup d'eau.

Le tableau II montre que c'est la région des Hauts Bassins qui offre les plus fortes productions de riz pluvial

### **3.3.2. LE MAÏS.**

Selon le Programme Céréales traditionnelles de l'INERA (1994), 70 à 80 % des superficies et des productions du maïs sont faites dans l'Ouest et le Sud-Ouest du pays où les conditions de sa production sont les plus favorables. La région des Hauts bassins apparaît comme celle qui fournit la plus grande partie de la production nationale (tableau II). Il est également cultivé autour des cases sur le plateau central, et dans les rares bas-fonds de la zone sahélienne.

D'après les estimations du service des statistiques agricoles du Ministère de l'agriculture (2000), la production nationale de la campagne 1999-2000 s'élève à 468900 tonnes et présente un accroissement de 24 % comparativement à la campagne précédente. Cette céréale occupe le troisième rang parmi les spéculations céréalières du pays, après le sorgho et le mil (tableau I et II).

**Tableau II:** Production des cultures céréalières et cotonnière de la région Ouest

CAMPAGNE	REGION AGRICOLE	Sorgho	Mil	Maïs	Riz pluvial	Coton
1996-1997	Mouhoun	238389	187210	38482	8804	53018
	Sud-Ouest	78329	45250	25017	5971	11740
	Hauts Bassins	81870	15533	125637	17298	85118
	Comoé	18550	8764	44735	7751	18278
1997-1998	Mouhoun	168417	124242	40161	2436	101300
	Sud-Ouest	75393	47627	39038	4571	20583
	Hauts Bassins	84028	11728	179403	20945	142131
	Comoé	17881	5655	56094	5462	38680
1998-1999	Mouhoun	205167	144657	43974	4786,6	
	Sud-Ouest	76690	55920	42295	5158	
	Hauts Bassins	76982	8995	158871	11820	
	Comoé	15284	4537	52729	4806	
1999-2000	Mouhoun	202980	157154	44890		44314
	Sud-Ouest	101732	57111	59934		20835
	Hauts Bassins	102971	19489	183573		103407
	Comoé	17073	4337	67296		48723

\* : comprend le riz pluvial de bas-fond et le riz pluvial strict

Source : Direction des études et de la planification / Services des statistiques agricoles / M.A.

### 3.3.3. LE COTONNIER.

Importante source de revenu monétaire pour les paysans et de devises pour le pays, la culture cotonnière occupe une place de choix dans l'économie du Burkina Faso. Selon le Programme coton de l'INERA (2000) près de 200000 exploitations agricoles sont productrices de coton. Le coton occupe 5 % des superficies cultivées du Burkina Faso, mais représente 40 à 50 % des exportations totales du pays. Il représente plus de 50 % du produit intérieur brut (PIB). Les évolutions de la production cotonnière, des superficies emblavées et des rendements obtenus en coton de 1993 à 1998 sont présentées dans le tableau III.

Si le cotonnier est cultivé pour sa fibre qui est essentiellement exportée, la graine qui est un sous produit joue un rôle important dans l'alimentation humaine et animale. Le grain de coton se retrouve dans les utilisations suivantes :

- alimentation humaine (amandes broyées très fines) sous forme de farine huilée (Romain et Thiombiga, 1990).

- alimentation animale. A ce niveau il faut noter que le grain de coton à une valeur de 1,04 UF et 131 g de matière protidique digestive par kg de matière sèche ; 21,6 % de matière grasse (Mémento de l'agronome, 1991)
  - le grain de coton se retrouve également dans les usages suivants : semence, huile, et engrais après compostage des graines déclassés (Romain et Thiomobiga, 1990)
- Pour Lendres (1992), les CRPA des Hauts Bassins et du Mouhoun ont assuré à eux seuls 97 % de la production nationale en 1990. C'est néanmoins la région des Hauts bassins qui est présentement la principale productrice (tableau II)

**Tableau III:** Evolution de la production nationale cotonnière du Burkina

Campagne	Production coton graine T	superficie (ha)	Rendement (kg/ha)
1992-1993	163301	176900	923
1993-1994	116598	152100	767
1994-1995	143080	184000	778
1995-1996	154854	160000	968
1996-1997	214353	195730	1095
1997-1998	338141	295198	1145
1998-1999	285039	355436	802

Source : INERA-Progamme Coton

# DEUXIEME PARTIE

Matériel et

Méthode

## **CHAPITRE 4 : SIMULATION DE LA SATISFACTION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES.**

Face au caractère erratique et précaire des conditions actuelles de la production agricole en culture pluviale stricte, l'adaptation des pratiques agricoles à cette donne apparaît comme la voie de sortie pour une agriculture dominée par des pratiques rudimentaires.

A présent, il s'agira de mettre en évidence une méthodologie permettant de définir, pour diverses longueurs de cycles de cultures (maïs, coton et riz pluvial), et pour différentes réserves utiles en eau du sol :

- les périodes optimales de semis permettant d'identifier pour les cultures concernées, les variétés les mieux adaptées aux conditions pédoclimatiques de chaque zone de la région ;
- les rendements auxquels on peut s'attendre dans ces zones et dans les conditions optimales de cultures.

Pour ce faire, l'étude s'appuie sur les valeurs fréquentielles du taux de satisfaction des besoins en eau des cultures aux phases critiques (début épiaison et pleine floraison) et sur les indices de rendement espéré. Elle se fonde sur l'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique des cultures pluviales.

Partant des potentialités agroclimatiques, cette étude nous permet de réaliser le zonage des cultures de maïs, de coton et de riz pluvial pour la région Ouest du pays. Pour cela, on collecte divers types de données climatiques et agronomiques requises par le logiciel utilisé.

### **4.1. LE MODELE DE SIMULATION UTILISE : SARRA.**

Le modèle SARRA (Système d'Analyse Régionale du Risque Agroclimatique) développé par le CIRAD (1996) dérive du modèle BIP (bilan hydrique à la parcelle) développé par Franquin et Forest (Somé, 1989). Il comprend les trois modules suivants :

- SARRAMET : pour l'analyse des données climatiques ;
- SARRAZON : pour l'analyse du bilan hydrique des réseaux agroclimatiques (analyse spatiale) ;
- SARRABIL : pour l'analyse du bilan hydrique des cultures (à la parcelle).

#### **4.1.1. LE MODULE SARRAMET.**

Ce module a été utilisé pour la gestion des données pluviométriques. Un fichier a été créé pour chacune des stations pluviométriques retenues. Les données de toutes les années sont stockées dans le même fichier. Le logiciel prend également en compte les coordonnées géographiques de la station (latitude, longitude, altitude).

Il peut servir pour le calcul de l'ETP ; si l'on dispose des données journalières sur la température, la vitesse du vent à deux mètres, la durée d'insolation et l'humidité relative. Mais ne disposant que des données décennales de ces paramètres, nous avons donc utilisé pour le calcul de l'ETP, le logiciel CROPWAT développé par la FAO (Smith, 1992). La formule utilisée est celle de Penman qui est la référence la plus souvent retenue (Dancette, 1991) et qui intègre le plus de données sur le climat : température moyenne en degré Celsius, vitesse du vent en m/s, insolation en heure/jour, humidité relative de l'air en pourcentage.

#### **4.1.2. LE MODULE SARRAZON.**

SARRAZON est un logiciel qui permet de résoudre, à pas de temps journalier, les différents termes de la relation empirique d'Eagelman (1971). Ses présupposés sont :

- un réservoir sol unique dont le volume est modulé par l'avancée du front racinaire ;
- la non séparation des phénomènes d'évaporation du sol et de la transpiration de la culture ;
- la prise en compte du ruissellement par la méthode seuil ou ORSTOM.

Ce module a permis de créer d'une part un fichier culture pour les données relatives aux cultures et d'autre part un fichier Pluie/ETP définissant un réseau climatique. Les éléments de ces fichiers correspondent aux paramètres d'entrée du modèle. Il a été utilisé pour le zonage par culture à l'échelle régionale. Nous l'avons utilisée pour effectuer des simulations du bilan hydrique du maïs, du coton et du riz pluvial dans vingt cinq (25) stations de la région Ouest et sur trente huit (38) années consécutives (de 1961 à 1998).

#### **4.1.3. LE MODULE SARRABIL.**

Ce module présente les mêmes caractéristiques que le module SARRAZON. Mais contrairement à ce dernier qui est utilisé pour une analyse régionale du bilan hydrique des cultures, SARRABIL est indiqué pour l'analyse du bilan hydrique des cultures à l'échelle de la parcelle. Il a été utilisé pour la détermination des indicateurs hydriques dans les parcelles en milieu paysan (calcul de l'IRESP).

## 4.2. LES PARAMETRES D'ENTREE DU MODELE SARRA.

### 4.2.1. LES PARAMETRES LIES A LA CULTURE.

La longueur du cycle, la vitesse racinaire et les coefficients cultureux constituent les paramètres d'entrée relatifs aux cultures.

#### 4.2.1.1. La longueur du cycle.

Pour ce qui est de la longueur du cycle, la saison végétative totale a été divisée en quatre phases de développement (Doorenbos et Pruitt, 1986 ; Brouwer et Heibloem, 1987) :

- **la phase initiale** : c'est la période qui s'étale depuis le semis ou le repiquage jusqu'à ce que la culture couvre environ 10 % de la surface du sol ;
- **la phase de développement** : cette période commence à la fin de la phase initiale et se termine quand la couverture totale du sol est réalisée (couverture du sol de 70 % à 80 %). Cela ne signifie pas nécessairement que la culture a atteint sa taille maximale ;
- **la phase de mi-saison** : cette période commence à la fin de la phase de développement et s'achève à la maturation. Elle comprend la floraison et la formation du grain ;
- **la phase d'arrière saison** : cette période commence à la fin de la phase de mi-saison et se termine au dernier jour de la récolte. Elle comprend le mûrissement.

Le tableau IV indique les différentes longueurs de cycles que nous avons retenus au niveau de chaque culture et la durée de leurs phases de développement.

**Tableau IV:** Longueur de cycle et phases de développement des cultures en jours

Culture	Cycle	Phases de développement			
		Initiale	Développement	Mi-saison	Arrière-saison
Riz pluvial	90	20	20	30	20
	100	20	25	35	20
Maïs	90	20	30	30	10
	110	20	30	50	10
	130	20	35	45	30
Cotonnier	135	20	45	45	25
	160	25	45	50	40

#### 4.2.1.2. La vitesse d'enracinement.

Trois options de vitesse racinaire sont offertes pour modéliser l'avancée du front racinaire :

- la première option permet de définir trois périodes successives caractérisées par des vitesses racinaires différentes (« trois phases »). Cette option a été utilisée dans le cas du riz pluvial et les données utilisées sont indiquées dans le tableau V, (Ces informations ont été fournies par Monsieur Reyniers J. N. du CIRAD (Montpellier-France)).

**Tableau V:** Vitesse racinaire du riz pluvial

Période	1	2	3
Vitesse (m/j)	10	15	10
Durée (jours)	20	20	20

Ces valeurs de la vitesse racinaire correspondent à une croissance moyenne des parties aériennes d'un riz pluvial.

- la seconde option consiste à fournir une vitesse moyenne, unique, d'avancée du front racinaire («vitesse unique»);
- la dernière consiste à indexer cette avancée sur celle du front d'humectation, en dehors de toute considération liée à la plante («front d'humectation»). Nous avons choisi ce dernier cas dans la simulation du bilan hydrique du maïs et du cotonnier. Ce choix s'impose car nous ne disposons d'aucune information sur la croissance racinaire du coton et du maïs.

#### 4.2.1.3. Les coefficients culturaux.

Le modèle propose deux options pour le choix des coefficients culturaux ( $K_c$ ) :

- l'option  $K_c$  décadaires qui utilise un  $K_c$  pour chaque décade du cycle de la culture. Elle a été utilisée dans le cas du riz pluvial sur la base de résultats obtenus par Dancette au Sénégal et par Kalms en Côte d'Ivoire (Forest et Reyniers, 1985)

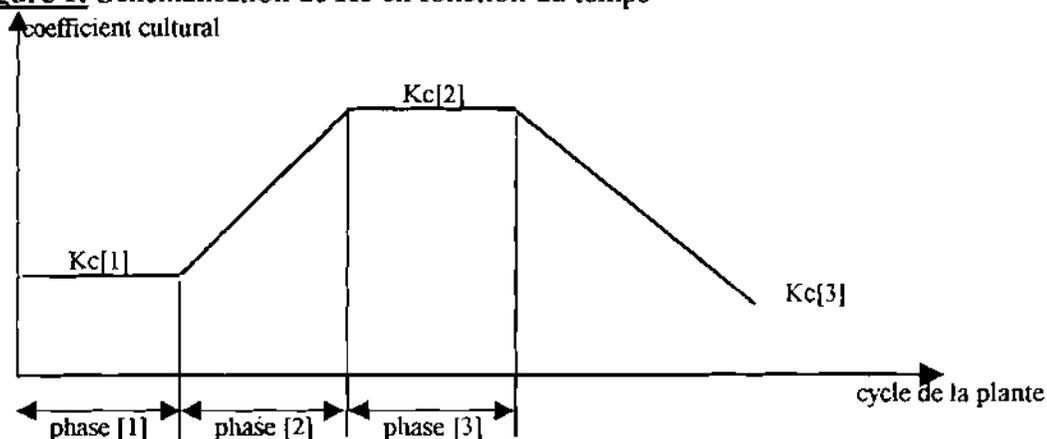
**Tableau VI:** Coefficients culturaux décadaires du riz pluvial

Décades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Riz 90 jours	0,40	0,78	1,00	1,20	1,25	1,30	1,35	1,20	0,90	0,90	
Riz 100 jours	0,40	0,78	1,00	1,20	1,25	1,30	1,35	1,35	1,20	0,90	0,80

- l'option phase de  $K_c$  pour laquelle l'opérateur doit fournir les valeurs initiale ( $K_c[1]$ ), maximale ( $K_c[2]$ ) et finale ( $K_c[3]$ ) du coefficient cultural; de même que les durées des

phases [1], [2] et [3]. Ces phases correspondent respectivement aux phases initiale, de développement et de mi-saison de chaque culture représentée dans le tableau IV. La durée de la dernière période est déduite de la longueur du cycle (figure 1). Pendant les phases ascendantes et descendantes les valeurs journalières de  $K_c$  sont interpolées. Cette dernière option a été retenue dans le cas du maïs et du cotonnier (tableau VII).

**Figure 1:** Schématisation de  $K_c$  en fonction du temps



**Tableau VII:** Coefficients cultureux du maïs et du cotonnier par phase

Culture	Coefficients cultureux		
	$K_c[1]$	$K_c[2]$	$K_c[3]$
Mais	0,40	1,15	0,70
Cotonnier	0,45	1,15	0,75

Source : Brouwer et Heibloem (1987)

#### 4.2.2. LES PARAMETRES LIES AU RESEAU CLIMATIQUE.

##### 4.2.2.1. Les données pluviométriques.

La région Ouest du Burkina dispose d'un important réseau de postes pluviométriques. Pour assurer une couverture spatiale représentative de la région, 25 postes pluviométriques incluant les cinq stations synoptiques de la région ont été retenus. Les critères de sélection sont fondés sur l'existence de séries de données pluviométriques journalières présentant peu de données manquantes et couvrant une période de 38 ans allant de 1961 à 1998. La carte 5 situe bien les différents sites et révèle une bonne répartition géographique de ceux-ci dans toutes les zones agroclimatiques de la région. Ce qui permet une prise en compte de la variabilité climatique dans l'espace et dans le temps.

La collecte des données a été réalisée auprès de l'IRD, qui dispose des relevés journaliers de la pluviométrie de chaque station du pays, de sa création à 1980. Ces données ont été complétées à partir des postes pluviométriques des DRA de la région. Nous avons néanmoins noté des années pour lesquelles les données sont absentes ou incomplètes pour certaines stations.

**Carte 5:** Repartition spatiale des postes pluviométriques



#### **4.2.2.2. Les autres données climatiques.**

D'autres données climatiques ont été nécessaires pour l'étude. Il s'agit des données décennales sur la durée d'insolation, l'humidité relative de l'air, la température moyenne de l'air et la vitesse du vent à 2 mètres au-dessus du sol. La collecte de ces données a été réalisée auprès de la Direction de la météorologie nationale, de la direction régionale de l'hydraulique des Hauts-Bassins, de l'INERA (station de Farako-bâ) et à la bibliothèque de l'IDR.

Ces données ont été nécessaires pour calculer l'ETP. Nous avons utilisé les séries décennales de 1981 à 2000 des quatre stations synoptiques de la région (Bobo, Gaoua, Boromo et Dédougou) et de la station agroclimatique de Bérégadougou. Seules ces stations disposent de ces types de données. Cependant, au niveau de Bérégadougou, nous n'avons

disposé que de dix années de données pour la vitesse du vent et l'humidité relative de l'air (1991-2000). Dans la suite du travail et pour les besoins de l'étude, nous avons affecté aux restes des stations les données de la station (synoptique) équipée la plus proche.

La série chronique de la pluviométrie journalière des différentes stations étudiées et les données sur les ETP décadaires (calculées à partir des données climatiques décadaires des stations synoptiques de la région) constituent donc les paramètres climatiques d'entrée.

La création de lien entre stations a consisté à relier chaque station pluviométrique (qui sert de référence géographique) à la station synoptique la plus proche (qui dispose des données sur l'ETP), pour l'ensemble du réseau pluviométrique. Seules les années complètes et communes (pluie + ETP) sont retenues par le logiciel pour l'analyse du bilan hydrique.

#### **4.2.3. LES AUTRES DONNEES D'ENTREE.**

Outre les caractéristiques des fichiers Culture, Pluie et ETP, les simulations ont nécessité les informations complémentaires suivantes :

##### **4.2.3.1. La profondeur maximale d'enracinement.**

C'est la profondeur au-delà de laquelle, toute l'eau est considérée comme du drainage lors du remplissage du réservoir sol. L'enracinement de la plante est bloqué s'il existe un horizon induré. Les profondeurs retenues tiennent compte des indications de Doorenbos et Kassam (1989), mais aussi des résultats des travaux de Chopart (1980) et de Somé (1989). Généralement, la limite du front d'enracinement des cultures annuelles pratiquées au Burkina Faso ne dépasse guère les 100 cm de profondeur (Nicou *et al.*, 1987). Les valeurs retenues sont de 60 cm pour le riz et 90 cm pour le coton et le maïs.

##### **4.2.3.2. La réserve utile (RU en mm/m).**

Il existe fréquemment au niveau du Burkina Faso un gradient de profondeur et donc de réserve d'eau du sol en fonction de la position dans le paysage. Le niveau de la réserve utile varie avec la toposéquence. Généralement faible en haut de pente (inférieure à 60 mm/m), la réserve utile peut dépasser 150 mm/m dans les sols alluvionnaires le long des cours d'eau (Dembélé et Somé, 1991). Girard *et al.* (1994) ont défini, pour les pays sahéliens, quatre niveaux de réserve utile maximale des sols de la région. Dans la présente étude, trois niveaux de RU ont été retenus pour tenir compte des informations obtenues dans la littérature, mais aussi des types de sols rencontrés dans la région : 60 mm/m, 90 mm/m et 120 mm/m.

#### **4.2.3.3. Le ruissellement.**

Pour cette étude, la méthode ORSTOM a été retenue (la seconde méthode étant la méthode seuil). C'est une méthode empirique qui a été calibrée et validée en conditions soudano-sahélienne, en Afrique de l'Ouest (Casenava et Valentin, 1989). La valeur du ruissellement journalier est calculée à partir de la hauteur de la pluie (P) et de l'indice de pluie antérieur (IK). Cet indice itératif rend compte de l'état d'humectation de la surface du sol de manière quotidienne. La relation est du type

$$R_J = A1.P_J + A2.IK_J + A3.P_J.IK_J + A4$$

Avec

- IK<sub>J</sub> : 0,606 (IK<sub>J-1</sub> + P<sub>J-1</sub>)
- R<sub>J</sub> : ruissellement du jour ;
- P<sub>J</sub> : pluie du jour ;
- IK<sub>J</sub> : indice de pluie antérieur au jour ;
- IK<sub>J-1</sub> : indice de pluie antérieur au (jour - 1) ;
- P<sub>J-1</sub> : pluie du (jour - 1) ;
- A1, A2, A3 et A4 : coefficients.

Quatre niveaux de ruissellement sont proposés par la méthode : ruissellement faible, ruissellement moyen, ruissellement fort et le niveau personnalisé. Les trois premiers niveaux correspondent aux équations de référence fournies par Casenava et Valentin (1989). Ils tiennent compte de l'état de surface du sol. La dernière option permet à l'utilisateur d'entrer ses propres coefficients de ruissellement, si des études spécifiques ont été menées localement. Nous avons retenu l'option de ruissellement moyen du fait de la faiblesse de la pente générale du pays, quoique le sol soit très sensible au ruissellement et à l'érosion (Somé, 1989).

#### **4.2.3.4. Les dates de début et fin de la simulation-Les dates de semis.**

Les dates de début et de fin de simulation ont été respectivement fixées au 1<sup>er</sup> avril et au 30 décembre.

Les dates de semis ont été choisies sur la base de celles proposées par l'INERA. Nous avons essayé de prendre en compte les dates de semis précoces habituellement réalisés par les paysans et les semis tardifs qui sont systématiques en cas d'installation tardive des pluies. Les dates de semis vulgarisées par la recherche se situent dans les périodes suivantes :

- du 15 au 30 juin pour le riz pluvial ;
- du 15 juin au 15 juillet pour le maïs ;

- et du 1<sup>er</sup> au 15 juin pour le cotonnier.

Dans la simulation, les dates de semis ont été fixées entre le 1<sup>er</sup> mai et le 05 août à intervalle de dix jours. Entre les dates de début de simulation et les dates de semis, le modèle tient compte des apports en eau (pluie, ruissellement) et de la demande climatique (ETP) pour calculer l'évaporation du sol nu et l'état du stock hydrique du sol.

La date de début de simulation suppose que la saison pluvieuse n'est pas encore effective ; ce qui nous permet de fixer le stock d'eau initial dans le sol à zéro millimètre.

### 4.3. LES VARIABLES DE SORTIE DU MODELE SARRA.

#### 4.3.1. NATURE ET CARACTERISTIQUES DES VARIABLES DE SORTIE.

SARRA offre la possibilité d'analyser 23 variables qui sont soit des données en entrée, soit des variables calculées par le modèle. Les résultats de l'analyse proposée ne font pas référence aux dates calendaires mais au nombre de jours avant ou après semis. Ainsi, il est possible de comparer des situations agropédoclimatiques variant tant sur les dates de semis que sur les longueurs de cycle. Ces analyses peuvent être effectuées sur différents pas de temps :

- plusieurs jours : option jours
- regroupées en quatre phases aux choix de l'opérateur : option phase
- par cycle : option cycle

L'option phase et cycle ont été utilisées dans la présente étude. L'option phase demande la division du cycle de la culture en quatre phases et la définition de la durée de chacune des phases envisagées. Cette option permet une meilleure approche des besoins en eau des plantes surtout pendant les périodes critiques qui déterminent la réussite de la culture. En effet, elle permet de caler la durée de chaque phase et de délimiter ainsi les périodes pendant lesquelles le déficit d'eau est préjudiciable à la production finale. Nous avons alors retenu la subdivision du cycle selon les quatre phases physiologiques suivantes (Somé, 1989 ; Bacci et Reynier, 1998) :

- la phase IDV correspond à la période de croissance végétative, allant du semis à l'initiation paniculaire du riz et du maïs et de la levée à l'ouverture de la première fleur pour le cotonnier ;

- la phase F1 commence au début de l'épiaison à environ 50 % de la floraison du riz et couvre la période de la floraison mâle du maïs. En ce qui concerne le cotonnier, elle va de l'ouverture de la première fleur à l'ouverture de la première capsule ;
- la phase F2 couvre la période pleine floraison-début maturation dans le cas du riz. Elle correspond à la floraison femelle au niveau du maïs. Pour le cotonnier, cette phase va de l'ouverture de la première capsule à l'ouverture d'environ 50 % des capsules ;
- la phase MATU va du début de la maturation à la récolte pour le riz et le maïs, et de l'ouverture de 50 % des capsules à l'ouverture de l'ensemble des capsules pour le cotonnier.

La durée de chacune de ces phases est indiquée dans le tableau VIII

**Tableau VIII:** Durée des phases physiologiques des variétés de riz pluvial, de cotonnier et de maïs

Culture	Cycle (jours)	Phases physiologiques			
		IDV	FL1	FL2	MATU
Riz pluvial	90	20	20	35	15
	100	20	25	35	20
Maïs	90	30	20	15	25
	110	40	25	20	25
	130	60	20	20	30
Cotonnier	135	65	50	10	10
	160	70	50	20	20

#### 4.3.2. LES VARIABLES DE SORTIE RETENUES.

Une option obligatoire «choix des résultats» permet de sélectionner dans la liste des résultats d'analyse (parmi les 23 variables) ceux que l'on veut visualiser. Nous avons alors retenu deux variables :

- ETR/ETM : ce ratio caractérise le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture conditionnant le rendement espéré en matière sèche ;
- ETR qui correspond à l'évapotranspiration réelle de la culture.

Ces variables ont été traitées fréquemment en assimilant fréquence observée et probabilité d'occurrence. Ainsi, le niveau de fréquence 80 % (occurrence 8 années sur 10) a été retenu. On estime donc que le niveau d'alimentation en eau de la culture est satisfaisant

aux périodes critiques (début épiaison, pleine floraison) dès qu'on obtient  $ETR/ETM \geq 0,8$ . Une représentation graphique du taux de satisfaction des besoins en eau selon la date de semis permet de déterminer la période favorable de semis.

Le calcul de l'ETR de la culture utilise la relation empirique d'Eagleman validée pour un grand nombre de type de sol et de culture à travers le monde.

A la sortie, SARRA propose des résultats géo-référencés exportables vers d'autres logiciels.

## CHAPITRE 5 : SIMULATION DES RENDEMENTS ESPERES.

### 5.1. COLLECTE ET EXPLOITATION DES DONNEES DES TESTS AGRONOMIQUES EN MILIEU PAYSAN.

Des données sur le rendement des trois cultures étudiées ont été nécessaires pour la détermination des rendements auxquels on pourrait s'attendre 8 années sur 10.

Ces données proviennent des résultats de divers tests démonstratifs conduits en milieu paysan par trois programmes de Recherche de l'INERA basés à la station de Recherche agronomique de Farako-bâ. Il s'agit des Programmes Riz et Riziculture, Coton, Céréales Traditionnelles. Un certain nombre de variétés de riz pluvial, de cotonnier et de maïs ont été proposées aux paysans par la recherche agricole. Les travaux ont été assurés par des paysans avec l'assistance technique des chercheurs, du semis à la récolte. Ces tests avaient pour objet :

- d'évaluer en milieu réel les performances des variétés dans les conditions écologiques de la région, pour une meilleure diffusion des acquis de la recherche ;
- de sensibiliser les producteurs et les vulgarisateurs à l'application de l'itinéraire technique recommandé sur chaque culture.

Les résultats obtenus permettent à la recherche de juger de l'intérêt du producteur pour ces nouvelles variétés (taux d'adoption) et de leur potentiel d'adaptation en situation hors station. Ces résultats ont été estimés à partir des carrés de rendement, ce qui ne permet pas toujours de quantifier les rendements réellement obtenus par l'agriculteur.

Les données ont été obtenues uniquement que sur cinq types de variétés : le riz de 90 jours et de 100 jours ; le maïs de 90 jours et de 110 jours et le coton de 135 jours.

### 5.2. DETERMINATION DES RENDEMENTS ESPERES DES TROIS CULTURES.

De nombreuses études ont montré la pertinence des indices de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) sur l'ensemble du cycle et la phase de floraison pour l'explication du rendement des céréales en Afrique de l'Ouest (Somé, 1989 ; Affholder, 1991 ; Samba, 1998). L'indice de rendement espéré (IRESP) est le plus explicatif à cet égard, car il permet de prendre en compte le niveau de la biomasse et la production potentielle de l'épi (Girard *et al.*, 1994). La relation qui lie le rendement à cet indice est généralement de la forme :

$$\text{Rendement} = a.\text{IRESP} + b$$

a et b représentent des coefficients qui sont fonction du niveau d'intensification de la culture.

### 5.2.1. DETERMINATION DE L'IRESP.

Dans la présente étude, nous avons retenu comme indice du rendement espéré (IRESP), celui qui associe l'ETR au cours du cycle (ETR<sub>c</sub>) avec la plus petite valeur du taux de satisfaction des besoins en eau de la culture (ETR/ETM<sub>pc</sub>) aux phases critiques (F11 et F12) :

$$\text{IRESP} = \text{ETR}_{\text{cycle}} \times \text{ETR/ETM}_{\text{phases critiques}}$$

En effet, la phase sensible correspond à la période floraison fructification, pour laquelle l'indice calculé est minimum. Cette phase marque mieux le niveau du stress hydrique de la culture. En effet, les pertes de rendements dues à un déficit hydrique sont d'autant plus prononcées que le stress hydrique survient à la période d'initiation et de formation du produit, c'est à dire à la période de l'épiaison floraison ou au début du remplissage des grains (Somé, 1989). Les variables ETR<sub>c</sub> et ETR/ETM<sub>pc</sub> ont été obtenues dans la simulation des semis pour le zonage des cultures. Le calcul de l'IRESP (historique) a été fait avec le tableur EXCEL.

### 5.2.2. CALCUL DES RENDEMENTS ESPERES.

Pour le calcul du rendement espéré, 8 années sur 10, dans la région Ouest du Burkina, nous avons simulé, à l'aide du module SARRABIL, les semis des tests démonstratifs en milieu paysan. Ce module utilise les mêmes données d'entrée que le module SARRAZON. Ainsi, pour le paramètre pluie, nous admettrons que la pluviométrie des parcelles où les tests ont été menés est assimilable à celle de la station pluviométrique la plus proche en l'absence de données de ce type sur place.

L'analyse a été réduite à la réserve utile de 90 et 120 mm/m.

Cette simulation a permis d'estimer l'indicateur hydrique IRESP (ETR<sub>c</sub> × ETR/ETM<sub>pc</sub>) pour chaque test. Ensuite, les fonctions de production ont été calibrées par comparaison des productions mesurées en milieu paysan avec les indicateurs hydriques simulés :

$$\text{Rendement} = a \cdot \text{IRESP} + b$$

Ces fonctions de production ont été utilisées avec les IRESP historiques pour extrapoler les rendements potentiels 8 ans sur 10.

# TROISIEME PARTIE

Résultats et

Discussion

## CHAPITRE 6 : ZONAGE PAR CULTURE.

Pour déterminer la période favorable de semis, nous avons calculé les valeurs fréquentielles du taux de satisfaction des besoins en eau (TSBE) aux phases critiques (début épiaison et pleine floraison). Nous avons donc simulé des semis tous les 10 jours à partir du mois de mai pour la série chronologique 1961-1998. Les périodes optimales de semis sont précisées à la fréquence de 80 % (8 années sur 10) du TSBE. Des dates de semis extrêmes sont fixées à la fréquence de 70 % du TSBE pour tenir compte des semis précoces ou tardifs réalisables. En effet, l'expérience acquise permet de préciser qu'il ne faut pas descendre en dessous d'un taux de satisfaction de satisfaction de 70 % au moment de la floraison (Poss *et al.*, 1988).

Le zonage permettra de préciser pour chaque zone agroclimatique de la région, les cycles de cultures les mieux adaptés.

Les résultats qui sont présentés portent sur 3 cultures représentées par leur longueur de cycle. Il s'agit du riz pluvial (cycle 90 et 100 jours), du coton (cycle 135 et 160 jours) et du maïs (cycle 90, 110 et 130 jours). L'étude a été menée sur l'ensemble des 25 stations en prenant en compte trois niveaux de réserve utile (RU) en eau du sol (60 mm/m, 90 mm/m, 120 mm/m). Les figures (2 à 22) qui montrent les périodes favorables à la réalisation de semis ont été établies à partir des courbes de satisfactions des besoins en des cultures (annexes 1a à 7b) aux cours des phases critiques F11 et F12.

## 6.1. ZONAGE DU RIZ PLUVIAL.

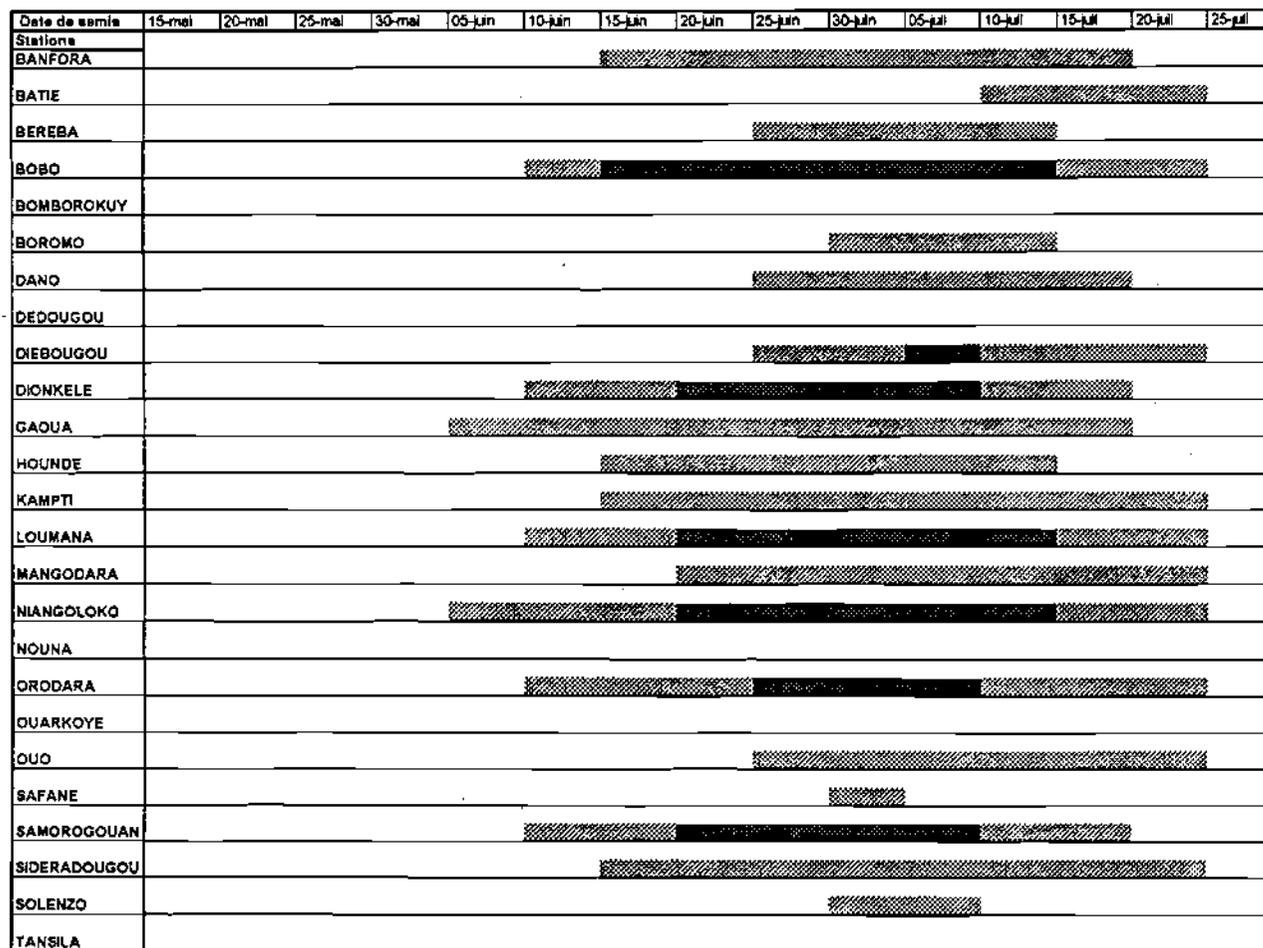
### 6.1.1. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU RIZ PLUVIAL DE 90 JOURS.

Les figures 2, 3 et 4 permettent de distinguer 3 zones pour la production du riz de 90 jours (carte 6 et 7) :

- Bomborokuy, Dédougou, Nouna, Ouarkoye et Tansila constituent la première zone. Dans ces sites, les conditions pluviométriques sont très faibles pour permettre une satisfaction des besoins en eau du riz 90 jours et cela quel que soit le niveau de la réserve en eau du sol (RU). Ce type de variété ne devra donc pas être vulgarisée en culture pluviale stricte dans ces localités situées au nord de l'isohyètes 750.
- Banfora, Béréba, Batié, Boromo, Gaoua, Houndé, Kampti, Mangodara, Ouou, Safané, Sidéradougou et Solenzo qui constituent la deuxième zone offrent des conditions de satisfaction des besoins en eau inférieures à 80 % ( $80 \% < \text{TSBE} < 70 \%$ ) pour la RU de 120 mm/m. A la RU de 90 mm/m, les sites de Béréba, Safané et Solenzo se trouvent dans des conditions hydriques insuffisantes à la culture de cette variété de riz. L'ensemble des sites de cette zone ne trouve plus les conditions optimum de production du riz 90 jours à la RU de 60 mm/m.
- La troisième zone est constituée par les sites de Bobo, Diébougou, Dionkélé, Loumana, Niangoloko, Orodara et Samorogouan dans lesquels le taux de satisfaction des besoins en eau est supérieur à 80 % à la RU de 120 mm/m. Pour ces sites, les semis doivent commencer dès la cinquième pentade de juin à l'exception de la zone de Bobo où ils doivent débuter une pentade plus tôt et de Diébougou où ils doivent se réaliser dans la deuxième pentade de juillet. Les semis s'arrêteront dans la deuxième pentade de juillet, dans la région de Dionkélé, Orodara et Samorogouan. A Bobo, Loumana et de Niangoloko, ils peuvent être poursuivis au cours de la troisième pentade. A la RU de 90 mm/m, seuls les sites de Dionkélé et de Samorogouan offrent des conditions de réalisation du riz 90 jours au TSBE de 80 % (8 années sur 10). Les semis devront donc s'effectuer entre la cinquième et la sixième pentade de juin pour la zone de Orodara et dans la sixième pentade du même mois à Samorogouan. On se contentera d'un TSBE compris entre 70 % et 80 % dans le reste des sites de la zone.

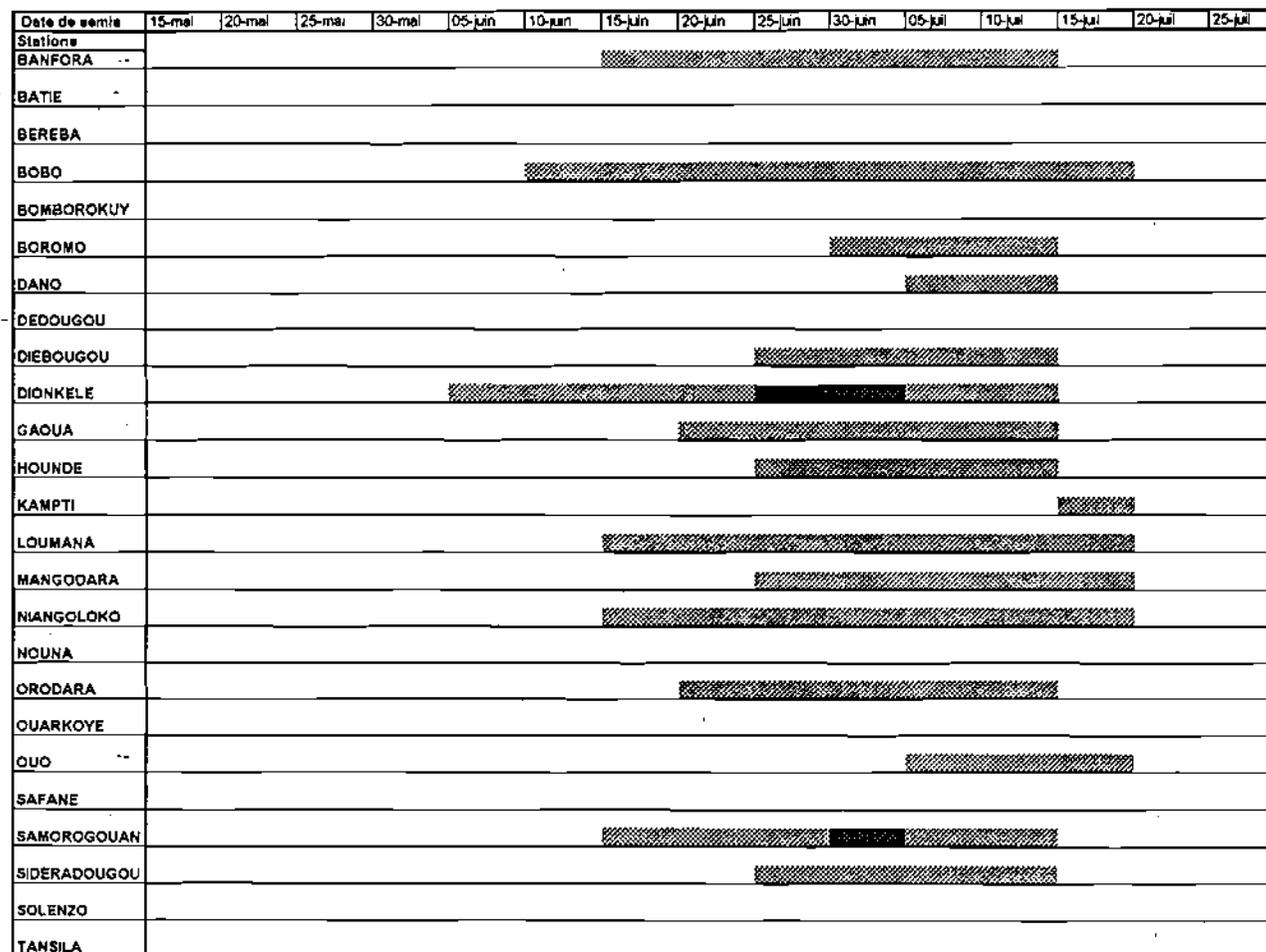
A la RU de 60 mm/m, aucun site de la zone ne réunit les conditions optimum (TSBE > 80 %) de réalisation de la culture du riz de 90 jours. Bobo, Dionkélé et Loumana permettront cependant sa réalisation au taux de satisfaction de 70 %. Dans ces conditions, les semis se feront impérativement entre la sixième pentade de juin et la deuxième pentade de juillet à Dionkélé et Loumana et dans les deux secondes pentades de juillet à Bobo.

Figure 02 : Période favorable de semis du riz 90 jours, RU = 120



Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

Figure 03 : Période favorable de semie du riz 90 jours, RU = 90



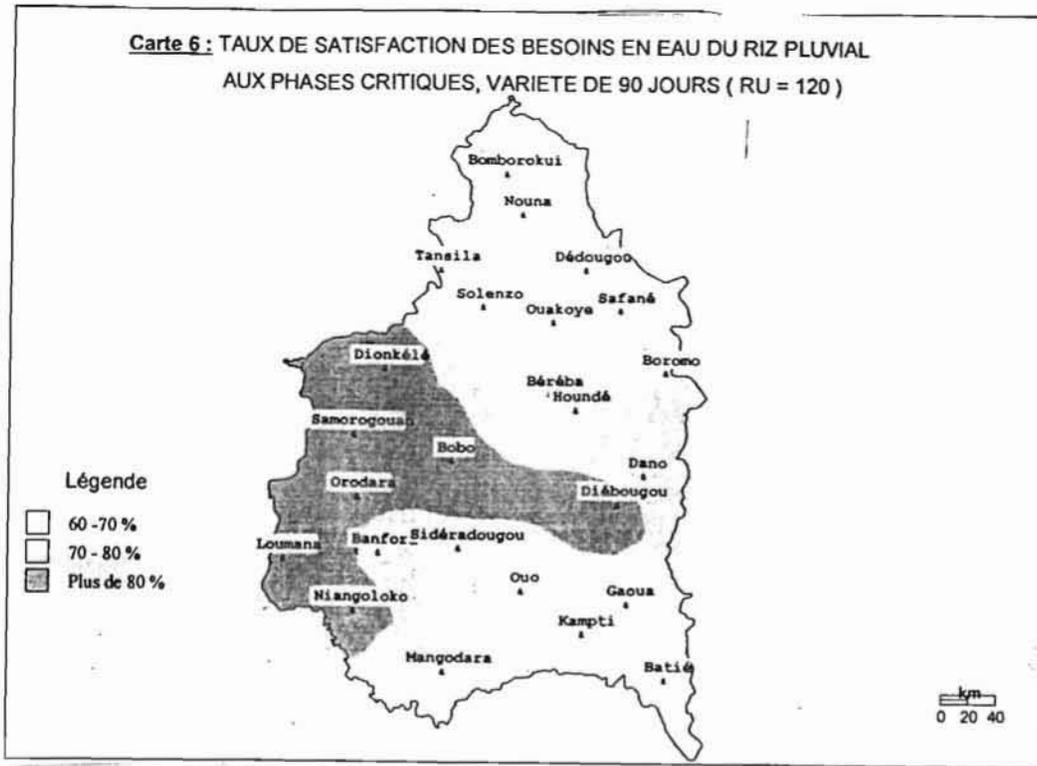
Légende:  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

Figure D4 : Période favorable de semis du riz 80 jours, RU = 80

Date de semis	15-mai	20-mai	25-mai	30-mai	05-juin	10-juin	15-juin	20-juin	25-juin	30-juin	05-jul	10-jul	15-jul	20-jul	25-jul
Station															
BANFORA															
BATIE															
BEREBA															
BOBO															
BOMBOROKUY															
BOROMO															
DANO															
DEDOUGOU															
DIEBOUGOU															
DIONKELE															
GAOUA															
HOUNDE															
KAMPTI															
LOUMANA															
MANGODARA															
NIANGOLOKO															
NOUNA															
ORODARA															
OUARKOYE															
OUO															
SAFANE															
SAMOROGUAN															
SIDERADOUGOU															
SOLENZO															
TANSILA															

Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

**Carte 6:** Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux. phases critiques, variété de 90 jours  $RU = 120 \text{ mm/m}$



**Carte 7:** Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux. phases critiques, variété de 90 jours,  $RU = 90 \text{ mm/m}$



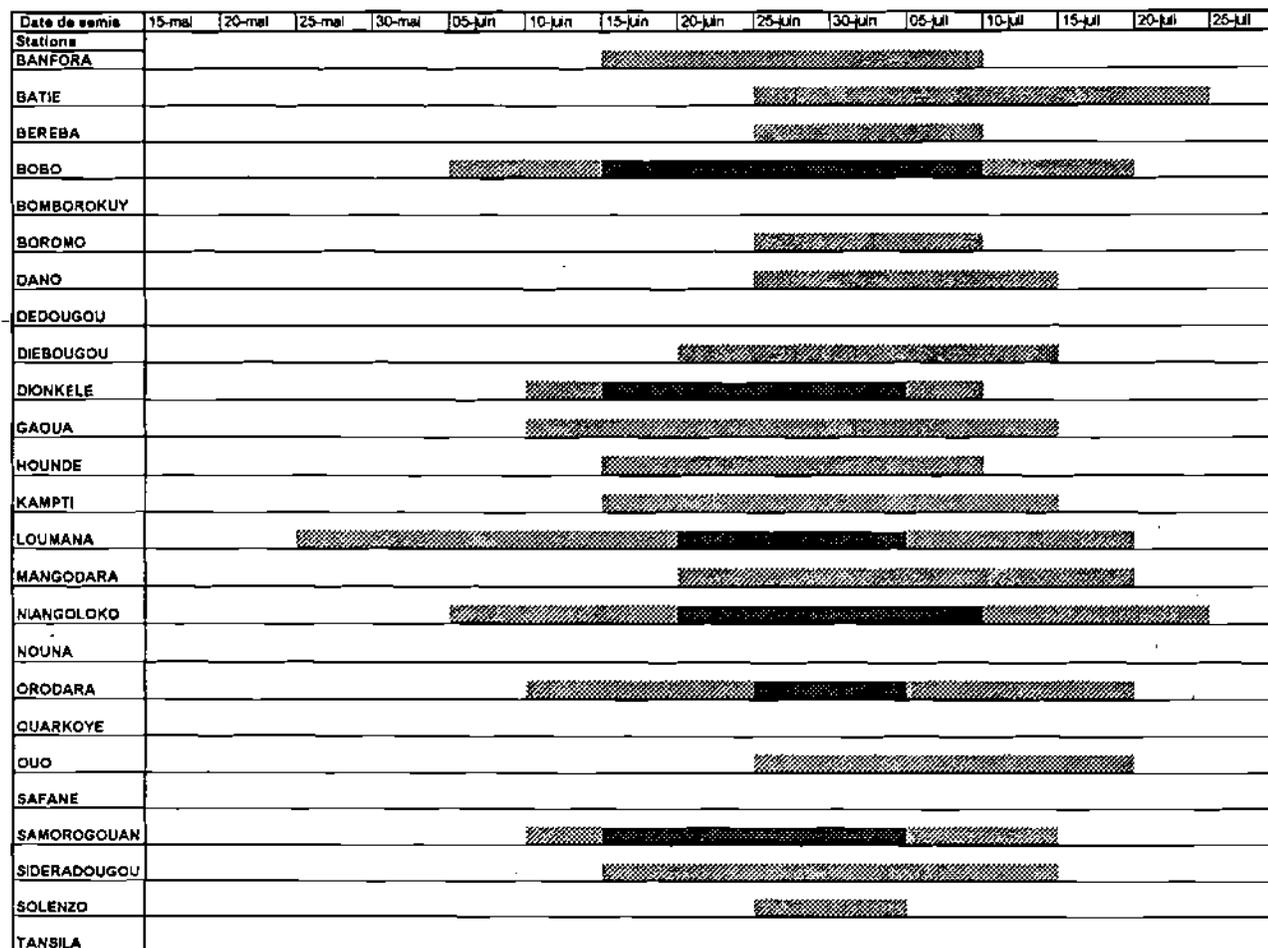
### 6.1.2. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU RIZ PLUVIAL DE 100 JOURS.

Du point de vue de l'alimentation hydrique, la satisfaction des besoins en eau des variétés de riz pluvial de 100 jours (figures 5, 6 et 7) permet une subdivision de la région Ouest du Burkina en 3 zones comme l'indique les cartes 8 et 9.

- La première zone regroupe les sites qui ne réunissent pas les conditions optimum de réalisation de la culture des variétés de riz de 90 jours auxquels s'ajoute Safané. Dans cette zone qui se situe au nord de l'isohyète 900, il sera difficile de produire également du riz de 100 jours en culture pluviale stricte, même à un TSBE de 70 % et dans les meilleurs sols (RU de 120 mm/m). Les variétés de 100 jours sont donc à déconseiller dans la zone.
- Par contre, dans la zone de Bobo, Dionkélé, Loumana, Niangoloko, Orodara et Samorogouan, les besoins seront satisfaits au moins à 80 % à la RU de 120 mm/m. Ces sites constituent la deuxième zone. Cette opportunité se retrouve seulement à Loumana à la RU de 90 mm/m. Ainsi, à la RU de 120 mm/m, les semis s'installeront dès la quatrième pentade de juin à Bobo, Dionkélé et Samorogouan et une pentade plus tard à Loumana et Niangoloko. L'arrêt des semis doit se faire à la fin de la première pentade de juillet à Dionkélé, Loumana et Samorogouan et se poursuivront par contre dans la deuxième pentade du même mois à Bobo et Niangoloko. Dans la région de Orodara, les semis se concentreront entre la dernière pentade de juin et la première pentade de juillet. A Loumana, on peut également semer à la RU de 90 mm/m, dans la dernière pentade de juin. Les autres sites de la zone n'offrent plus alors qu'une satisfaction à 70 % des besoins en eau de la culture à ce niveau de la RU. Bobo, Dionkélé, Loumana et Samorogouan réunissent également cette dernière condition à la RU de 60 mm/m.
- Le reste des sites de la région Ouest situés entre la ligne Ouarkoye-Banfara et l'isohyète 900 (carte 8) constitue la troisième zone. Dans cette zone, le riz de 100 jours se contentera d'une satisfaction à 70 % de ses besoins hydriques en culture pluviale stricte. Aussi, à la RU de 120 mm/m, faut-il réaliser les semis à partir de la troisième pentade de juin Gaoua ; dès la quatrième pentade de juin à Banfara, Houndé, Kampti et Sidéradougou. On attendra la cinquième pentade pour réaliser les premiers semis à Diébougou et Mangodara et la dernière pentade de juin pour les régions de Batié, Béréba, Boromo, Dano et Ouo. Les semis s'achèveront également avec la deuxième pentade de juillet sur les sites de Banfara, Béréba, Boromo et Houndé. Il faudrait éviter les semis après la troisième pentade de juillet dans les

régions de Dano, Diébougou, Gaoua, Kampti et Sidéradougou. Il en sera de même après la quatrième pentade de juillet à Mangodara et Ouou. Pourtant, on pourrait semer à Batié la pentade suivante. A Solenzo, les semis s'étaleront entre la dernière pentade de juin et la première de juillet. A la RU de 90 mm/m, les régions de Batié, Béréba et Solenzo n'offrent plus de conditions qui permettent d'atteindre un TSBE de 70 %. A partir de la RU de 60 mm/m l'ensemble des sites de ce groupe se retrouve avec un TSBE < 70 %.

Figure 05 : Période favorable de semis du riz 100 jours, RU = 120



semis favorables à 80%
  semis favorables à 70%
  semis non favorables

Figure D6 : Période favorable de semis du riz 100 jours, RU = 90

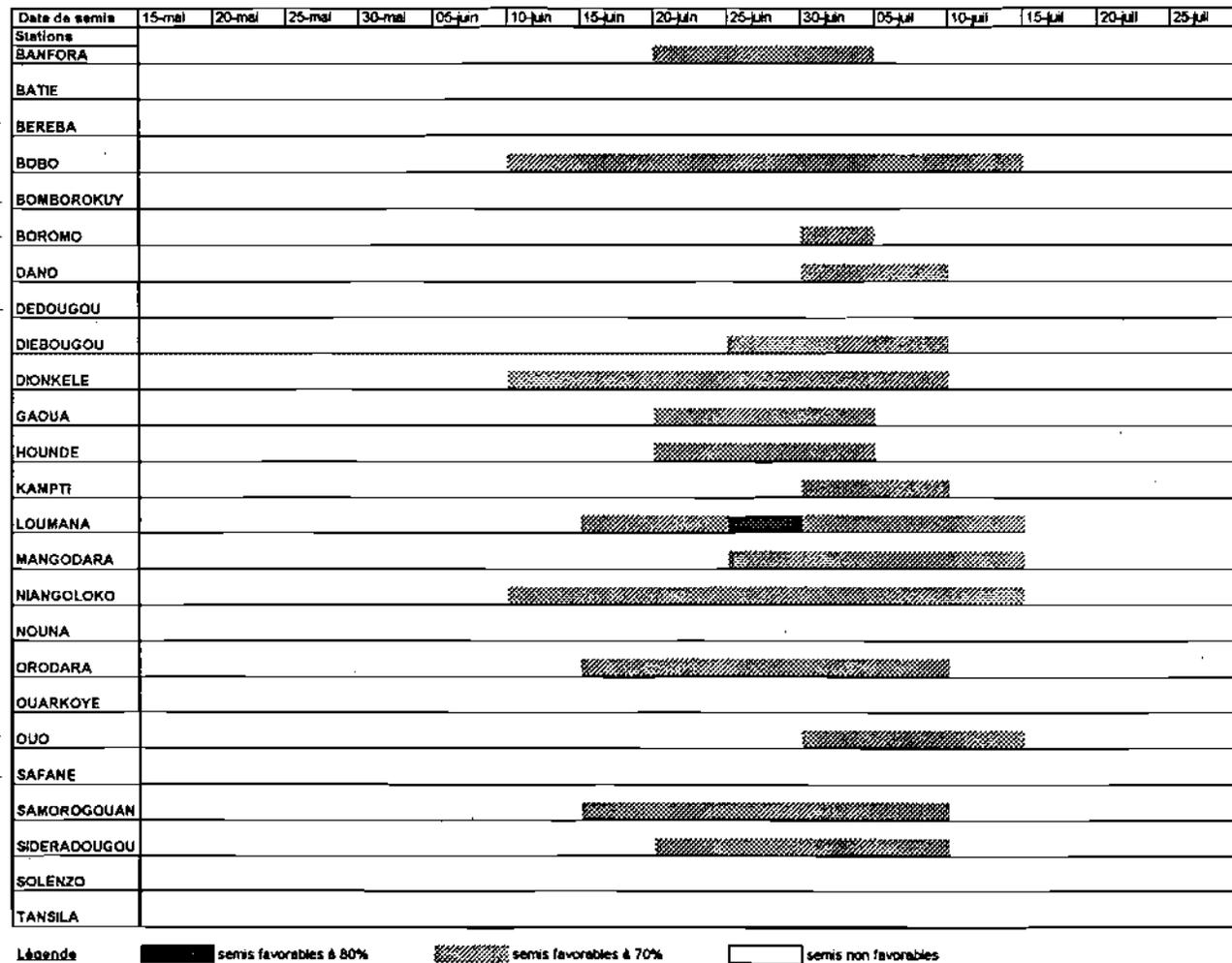
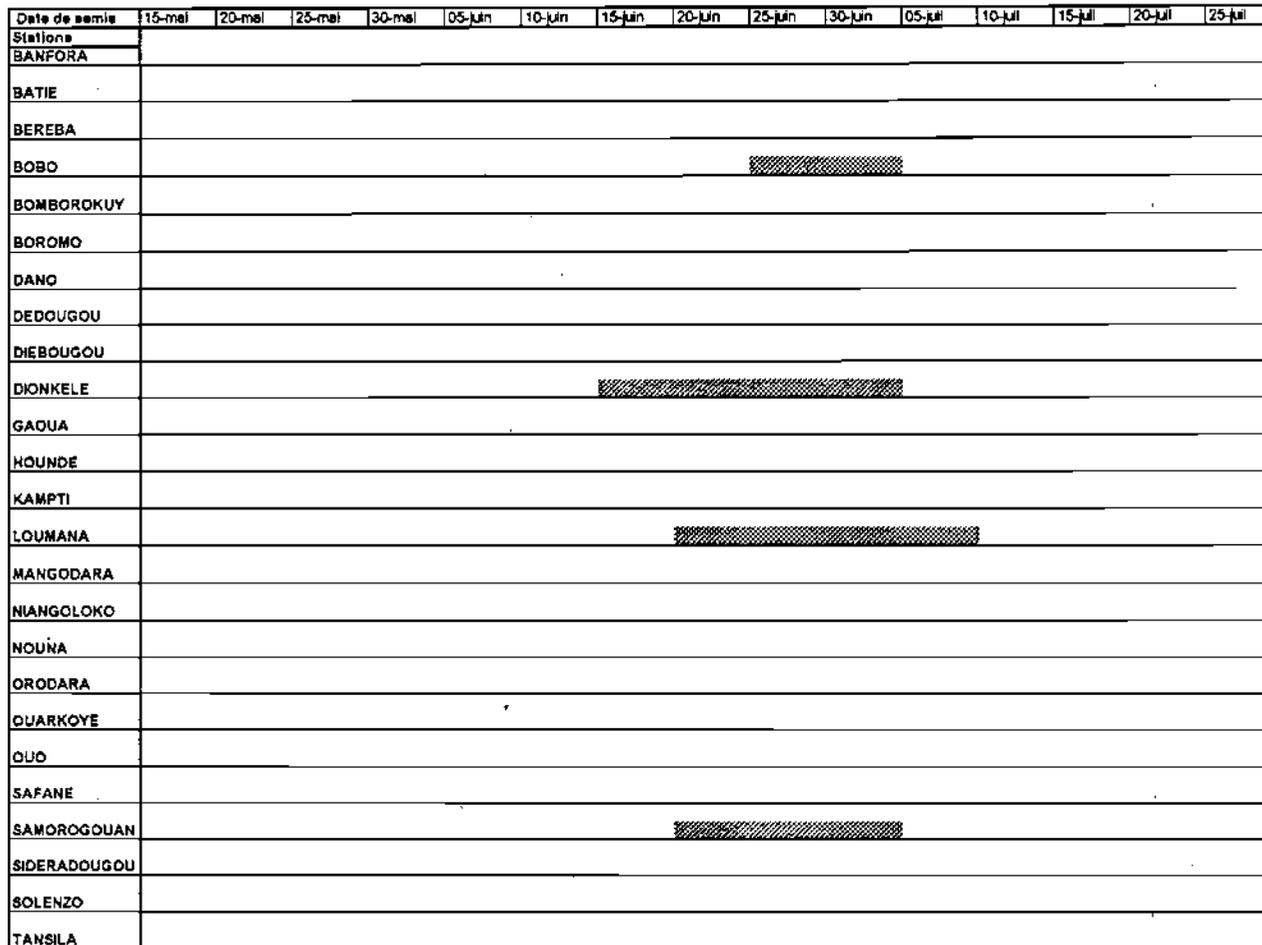
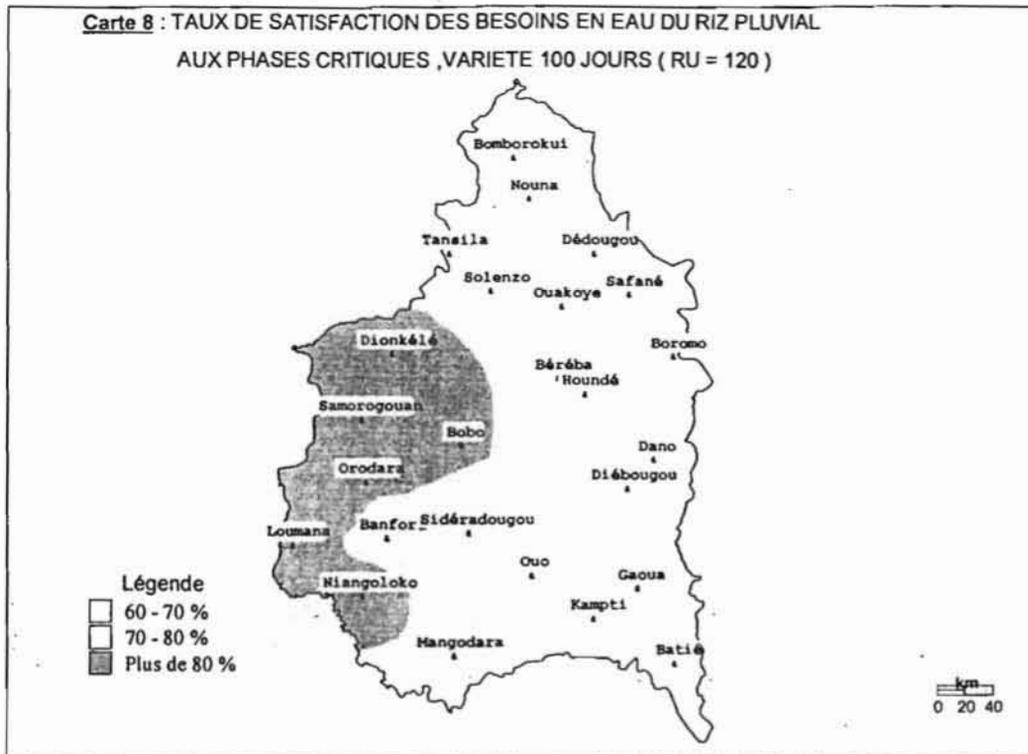


Figure 07 : Période favorable de semis du riz 100 jours, RU = 60



Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

**Carte 8:** Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux phases critiques, variété de 100 jours, RU = 120 mm/m



**Carte 9:** Taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial aux phases critiques, variété de 100 jours, RU = 120 mm/m



### **6.1.3. CONCLUSION SUR LE ZONAGE DU RIZ PLUVIAL.**

Les périodes optimum de semis présentent une variabilité dans l'espace qui s'accroît avec la baisse de la réserve utile du sol. Ainsi les semis débutent d'autant plus précocement qu'on se déplace du nord vers le sud. La période de semis est plus étalée dans le sud que dans le Nord de la région Ouest. Les zones situées plus à l'ouest présentent généralement les meilleures disponibilités pour la culture du riz pluvial. Les semis optimum sont à réaliser entre mi-juin et mi-juillet.

Le riz de 90 jours offre des périodes optimum de semis plus longues aux producteurs que le riz de 100 jours. Cependant les semis se feront plus précocement avec les variétés de 100 jours. Pour ces deux types de variété, les semis seront d'autant plus précoces et plus étalés que la RU est élevée. Toute technique culturale qui favoriserait un accroissement de la RU du sol est donc à conseiller dans les zones à risque. Le producteur réalisera alors ses semis de préférence dans les sols profonds et assez argileux pour permettre un enracinement profond et une plus grande capacité d'exploitation de l'eau du sol.

Le taux de satisfaction à 80 % des besoins en eau du riz pluvial est atteint, 8 années sur 10, essentiellement dans la moitié sud de la région étudiée mais plus précisément dans la partie sud-ouest. Des semis favorables au TSBE de 70 % sont possibles. Cependant, il faudra se conformer aux limites de la période favorable pour éviter des stress hydriques déjà imminents avec un tel taux.

## 6.2. ZONAGE DU COTON.

### 6.2.1 PERIODES OPTIMUM DE SEMIS DU COTON DE 135 JOURS.

- Les figures 8, 9 et 10 montrent que quelle que soit la RU du sol, il est difficile d'avoir une situation optimum pour la culture du coton de 135 jours dans la zone de Bomborokuy, Dédougou, Nouna et Ouarkoye (cartes 10 et 11). En effet, dans cette zone, il est impossible d'obtenir une satisfaction, même à 70 % des besoins en eau de la culture en raison de l'insuffisance de la pluviométrie et ce, même dans les meilleurs sols. La même situation s'observe à Béréba et Tansila sur les parcelles où la RU est de 60 mm/m. On déconseillera alors la vulgarisation de ce type de variétés dans les régions situées au-dessus de la ligne Boromo-Ouarkoye.

- A la RU de 120 mm/m comme l'indique la carte 10, le coton de 135 jours trouve les conditions hydriques favorables à Banfora, Bobo, Dano, Diébougou, Dionkélé, Gaoua, Houndé, Kampti, Loumana, Mangodara, Niangoloko, Orodara, Ouo, Samorogouan et Sidéradougou. Le TSBE dans cette zone située au sud de l'isohyète 900, dépasse la valeur de 80 %. Ainsi, les semis peuvent commencer dès la première pentade de mai dans la zone de Dionkélé, Loumana et Niangoloko et à la pentade suivante dans la zone de Bobo et Samorogouan. A Gaoua, Orodara et Sidéradougou, ils débiteront à partir de la troisième pentade de mai. Dans la zone de Dano, Diébougou et Kampti, les producteurs patienteront jusqu'à la quatrième pentade de mai avant de réaliser les premiers semis. Dans certaines zones où le TSBE atteint les 80 %, le producteur ne dispose que d'une pentade en mai pour réaliser des semis optimum. Il s'agit de Banfora (pentade 5), Houndé (pentade 4), Mangodara et Ouo (pentade 6). Le coton de 135 jours ne doit plus être semé au-delà de la cinquième pentade de mai à Dano, Diébougou, Dionkélé, Samorogouan et Sidéradougou. Les semis s'arrêteront plus tôt à Gaoua (pentade 4). Par contre, les semis pourront se poursuivre dans la sixième pentade de mai dans la zone de Bobo et Kampti. Il en sera de même à Loumana, Niangoloko et Orodara jusqu'à la fin de la première pentade de juin.

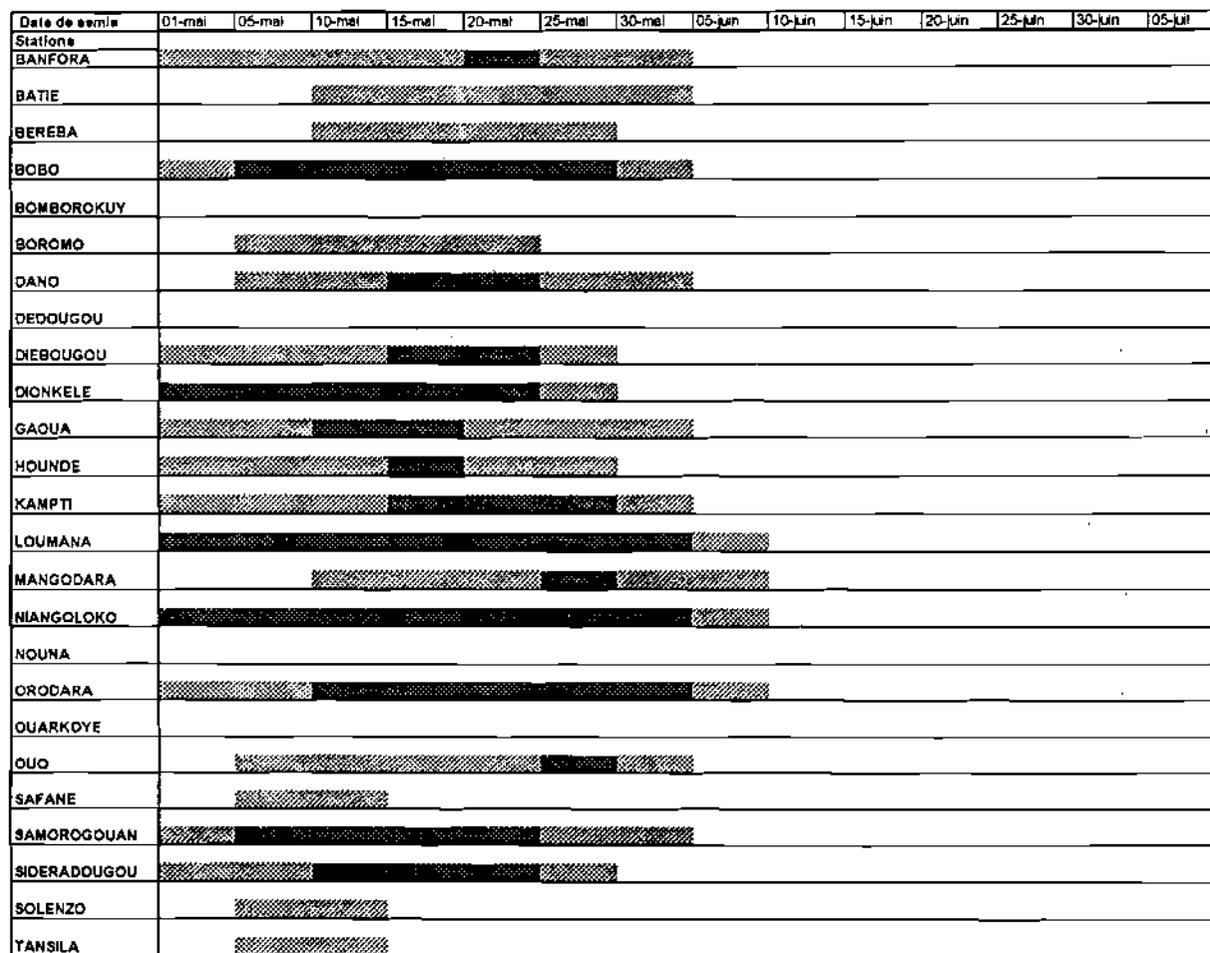
A la RU de 90 mm/m (carte 11), les facteurs pédoclimatiques ne permettent plus une satisfaction à 80 % des besoins hydriques de la culture dans les zones suivantes : Banfora, Gaoua, Houndé et Ouo. Dans ces zones, et à la RU de 90 mm/m, le producteur se contentera, 8 ans sur 10, d'une satisfaction des besoins en eau de sa culture inférieure à 70 %. Les semis seront alors plus étalés mais bien sûr avec plus de risques pour l'alimentation hydrique de la plante (TSBE < 80 %). Cependant, dans les zones de Bobo, Dano, Diébougou, Dionkélé,

Kampti, Loumana, Niangoloko, Orodara, Samorogouan et Sidéradougou, le TSBE de la culture de coton 135 jours atteint toujours 80 %. Pour profiter de cette situation, les semis devront se faire de la première à la cinquième pentade de mai à Dionkélé, Loumana et Niangoloko ; de la deuxième à la cinquième pentade du même mois à Bobo et Samorogouan ; de la troisième à la quatrième pentade à Orodara et Sidéradougou ; de la quatrième à la cinquième pentade à Diébougou et Kampti et, enfin, dans la cinquième pentade à Dano.

A la RU de 60 mm/m et pour un TSBE > 80 %, les semis se feront impérativement de la deuxième à la quatrième pentade de mai dans la zone de Bobo, Dionkélé, Loumana et Niangoloko. On sèmera de la deuxième à la troisième pentade de mai à Samorogouan.

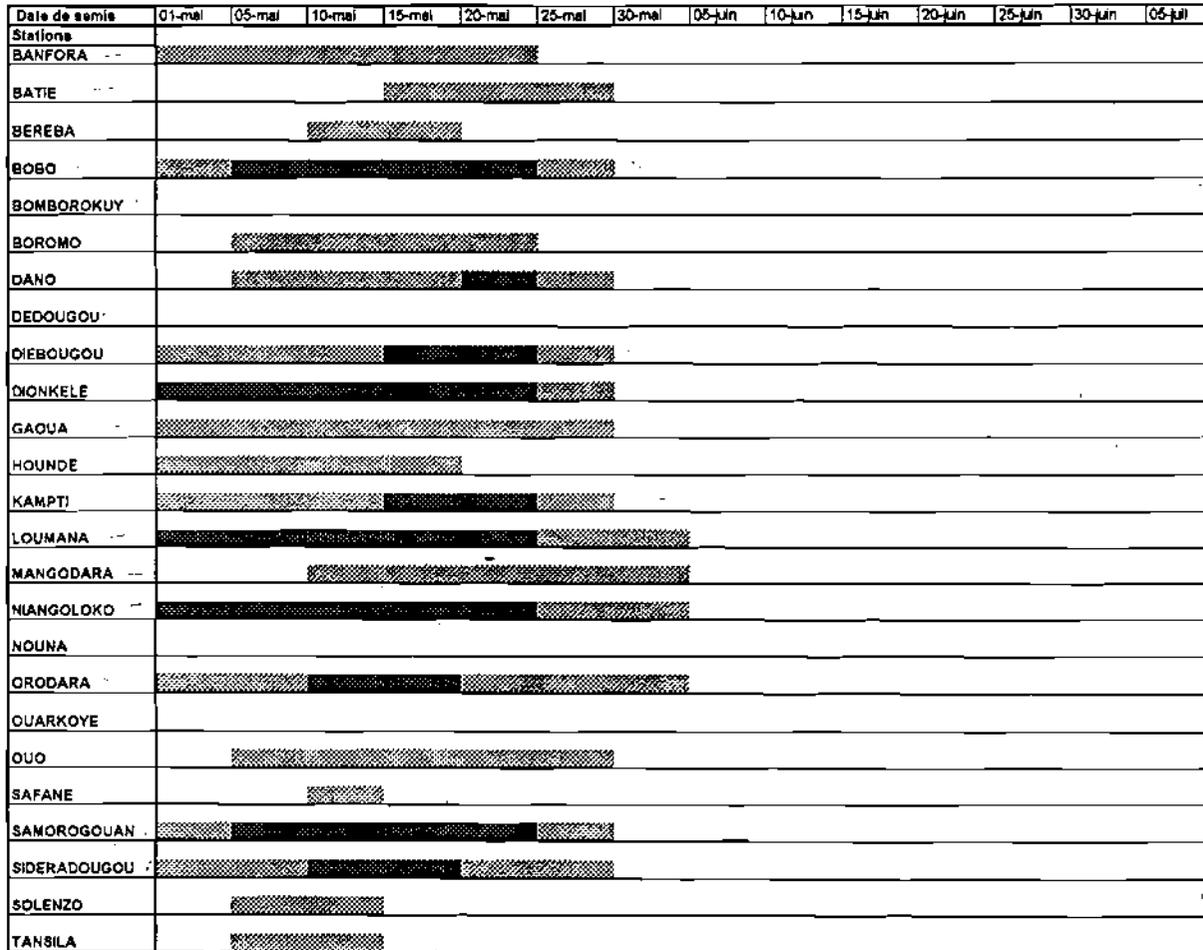
- Batié, Béréba, Boromo, Safané, Solenzo et Tansila n'atteignent qu'un taux de 70 % à la RU de 120 mm/m. Les semis sont alors réalisables à ce taux, dans les deux secondes pentades de mai à Safané, Solenzo et Tansila. Ils débiteront à partir de la troisième pentade de mai à Batié et Béréba et prendront fin dans la sixième pentade à Béréba et à la pentade suivante à Batié. A Boromo, on les réalisera de la deuxième à la cinquième pentade de mai. A l'exception de Boromo, Solenzo et Tansila, ces périodes de semis seront réduites d'une à deux pentades dans les autres zones de ce groupe pour la RU de 90 mm/m. A 60 mm/m, Batié, Béréba, Safané et Tansila n'offrent pas une possibilité de satisfaire à 70 % la demande en eau de la culture. Cette opportunité est cependant observable à Solenzo (pentade 3 de mai) et Boromo (pentades 3 et 4 de mai).

Figure 08 : Période favorable de semis du coton 135 jours, RU = 120



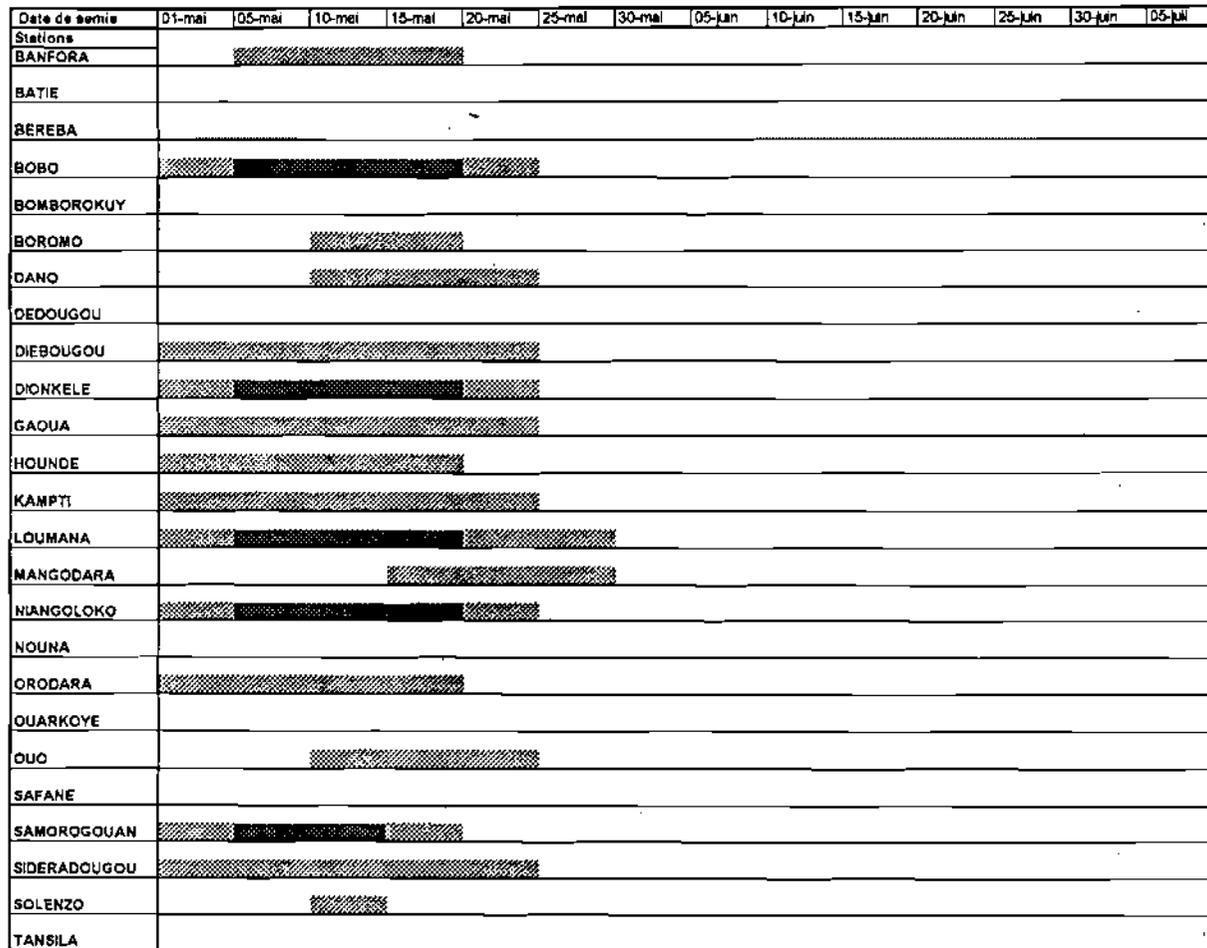
Légende [Solid black box] semis favorables à 80% [Hatched box] semis favorables à 70% [White box] semis non favorables

Figure 09 : Période favorable de semis du coton 135 jours, RU = 90



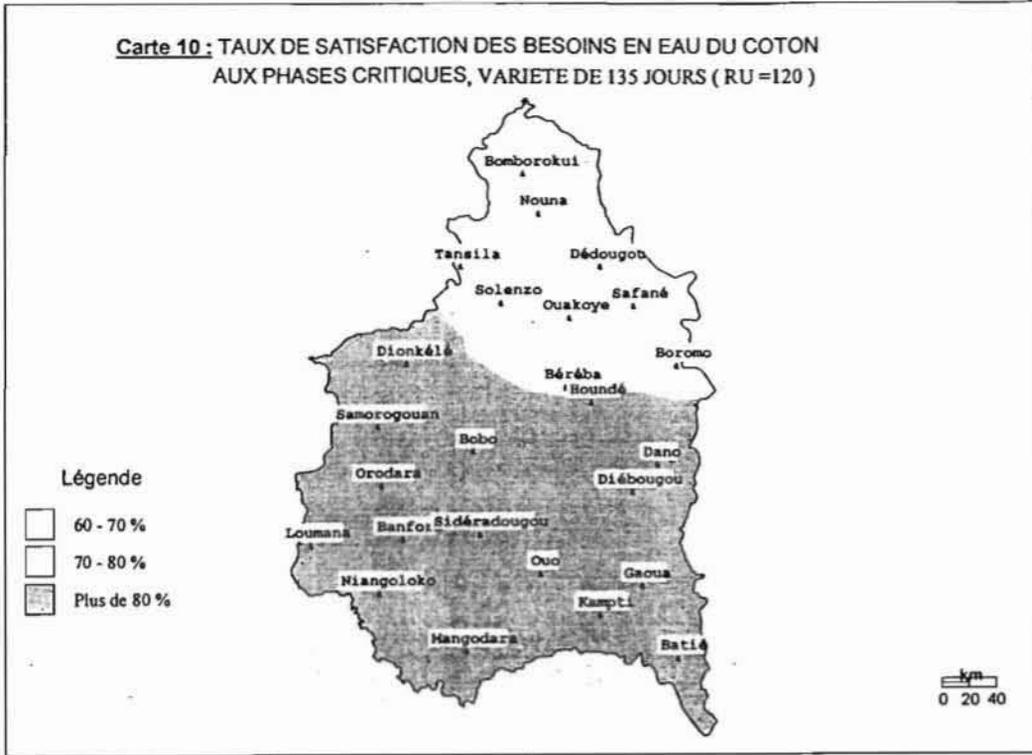
Légende [shaded] semis favorables à 80% [dotted] semis favorables à 70% [white] semis non favorables

Figure 10 : Période favorable de semis du coton 135 jours, RU = 80



Légenda ■ semis favorables à 80% ■ semis favorables à 70% □ semis non favorables

**Carte 10:** Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 135 jours, RU = 120 mm/m



**Carte 11:** Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 135 jours, RU = 90 mm/m



### 6.2.2. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU COTON DE 160 JOURS.

- De prime abord, les figures 11, 12 et 13 permettent de constater que les sites de Bomborokuy, Dédougou, Nouna, Ouarkoye et Tansila n'offrent pas les conditions hydriques optimum à la production du coton de 160 jours et cela quels que soient la date de semis et le niveau de la RU (carte 12 et 13). Batié, Béréba Boromo, Safané et Solenzo se retrouvent dans le même cas de figure dès que l'on descend à la RU de 60 mm/m. A ce niveau de RU seule la zone regroupant Bobo (pentade 1 de mai), Loumana et Niangoloko (pentade 1 et 2 de mai) offre la possibilité de satisfaire les besoins en eau du coton de 160 jours à 80 % pendant la deuxième pentade de mai. Dans le reste des sites, ces taux de satisfaction des besoins en eau sont compris entre 70 % et 80 %.
- A la RU de 120 mm/m (carte 12), on réalisera les semis optimum, à 80 % de TSBE, en une pentade à Dano et Diébougou (pentade 3 de mai), à Mangodara et Ouo (pentade 4 de mai). Le producteur dispose de deux pentades pour les semis à Gaoua (pentade 1 et 2), à Kampti (pentade 3 et 4) et à Sidéradougou (pentade 2 et 3). A Bobo, Dionkélé et Samorogouan on sèmera de la première pentade à la troisième pentade de mai ; de la deuxième à la quatrième pentade du même mois à Orodara et enfin de la première pentade à la cinquième à Loumana et Niangoloko. A Solenzo, on sèmera dans la première pentade de mai tout en restant réduit à un TSBE de 70 %. Il en sera de même à Banfora (pentade 1 à 5), Batié (pentade 2 à 5), Béréba (pentade 2 à 3), Boromo (pentade 1 à 3) et Houndé (pentade 1 à 4).
- A la RU de 90 mm/m comme l'indique la carte 13, les périodes favorables pour des semis à 80 % du TSBE (cas de la RU de 120 mm/m) se maintiendront à Bobo, Dano et Diébougou. Par contre, la fin de la période des semis sera réduite d'une pentade à Dionkélé, Kampti, Loumana, Niangoloko, Orodara et Samorogouan. Gaoua, Mangodara, Ouo et Sidéradougou descendent à un TSBE de 70 %. Cette tendance dans la réduction de la fin de la période favorable des semis s'observe également dans les zones qui permettaient d'atteindre un TSBE de 70 % à la RU de 120 mm/m, exception faite de Safané et Solenzo où les semis peuvent toujours se réaliser dans les mêmes délais.

Figure 11 : Période favorable de semis du coton 160 jours, RU = 120

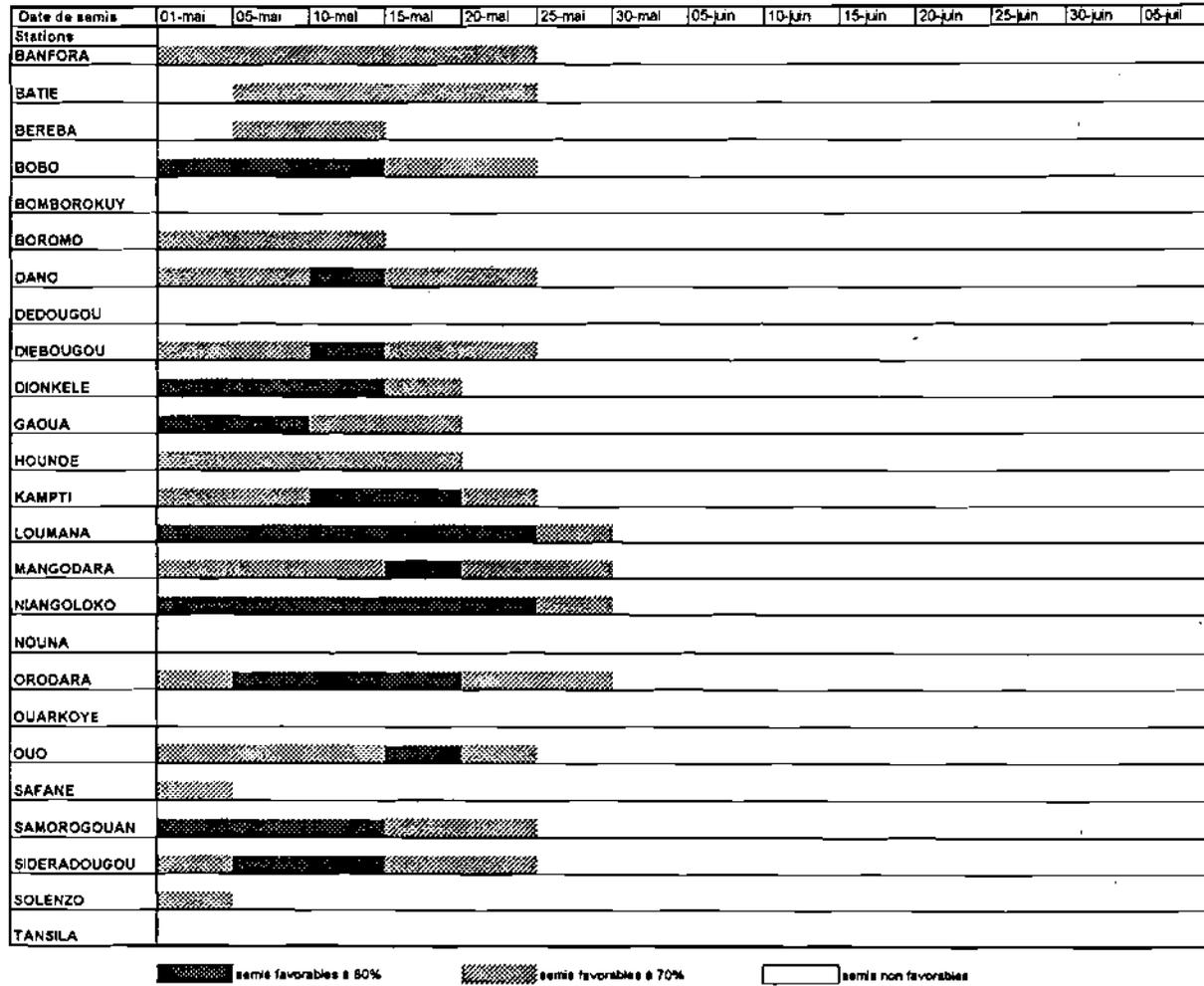


Figure 12 : Période favorable de semis du coton 180 jours, RU = 80

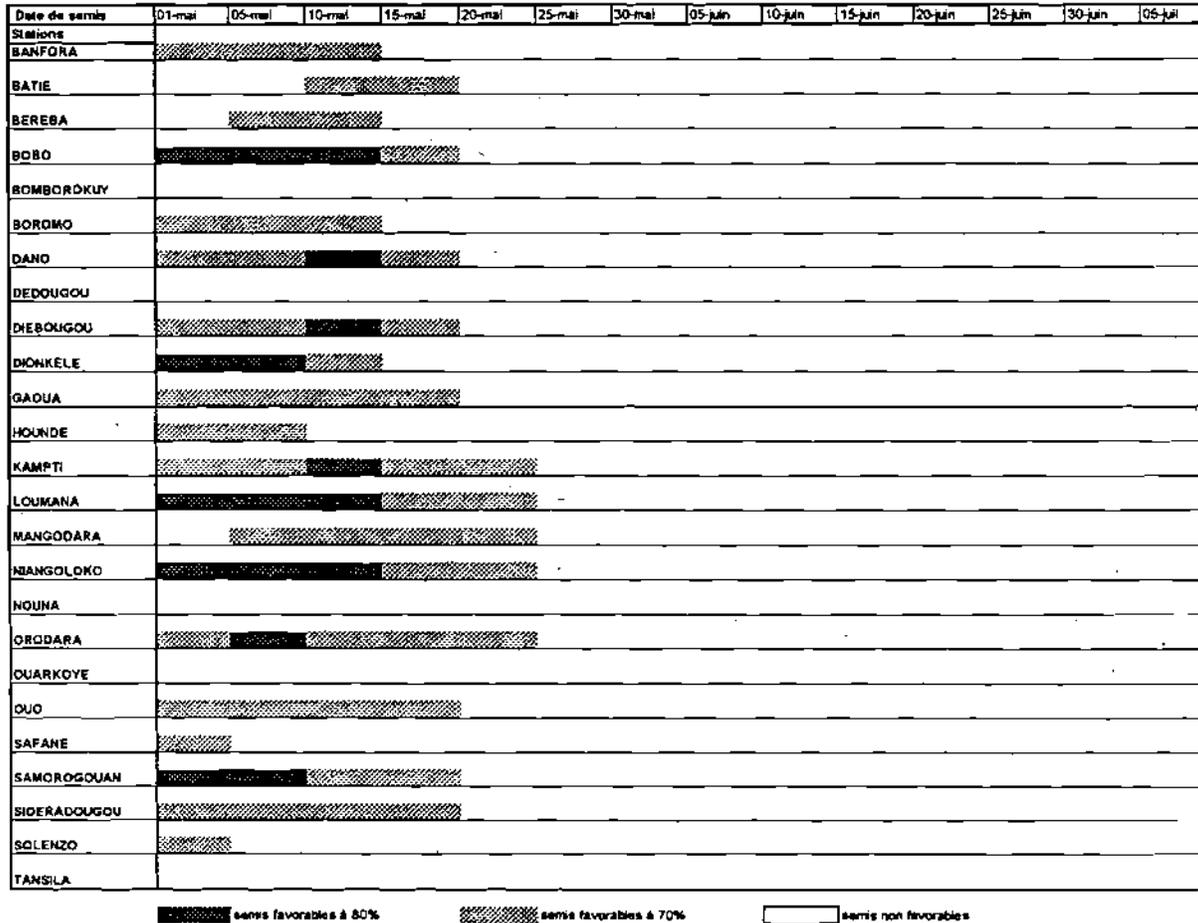
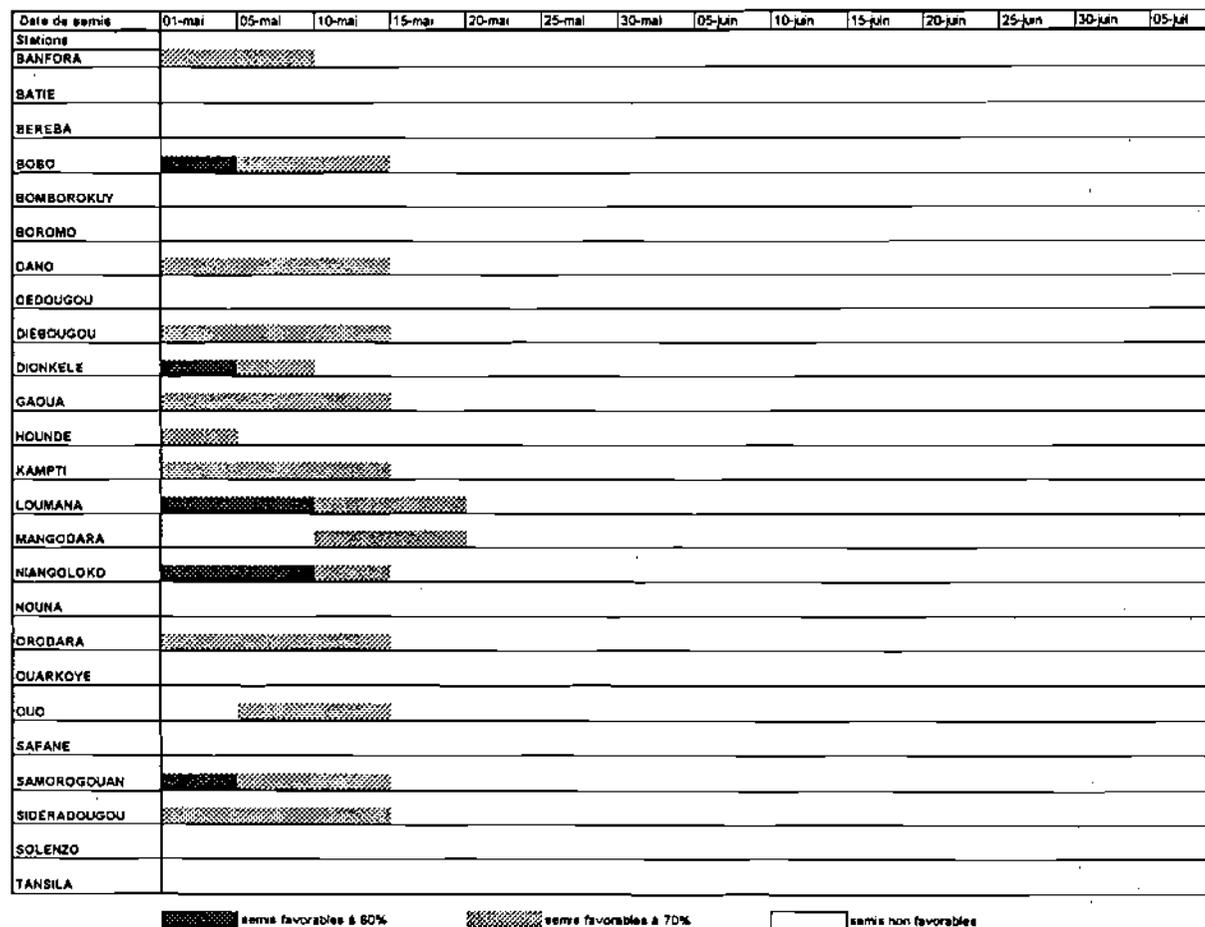
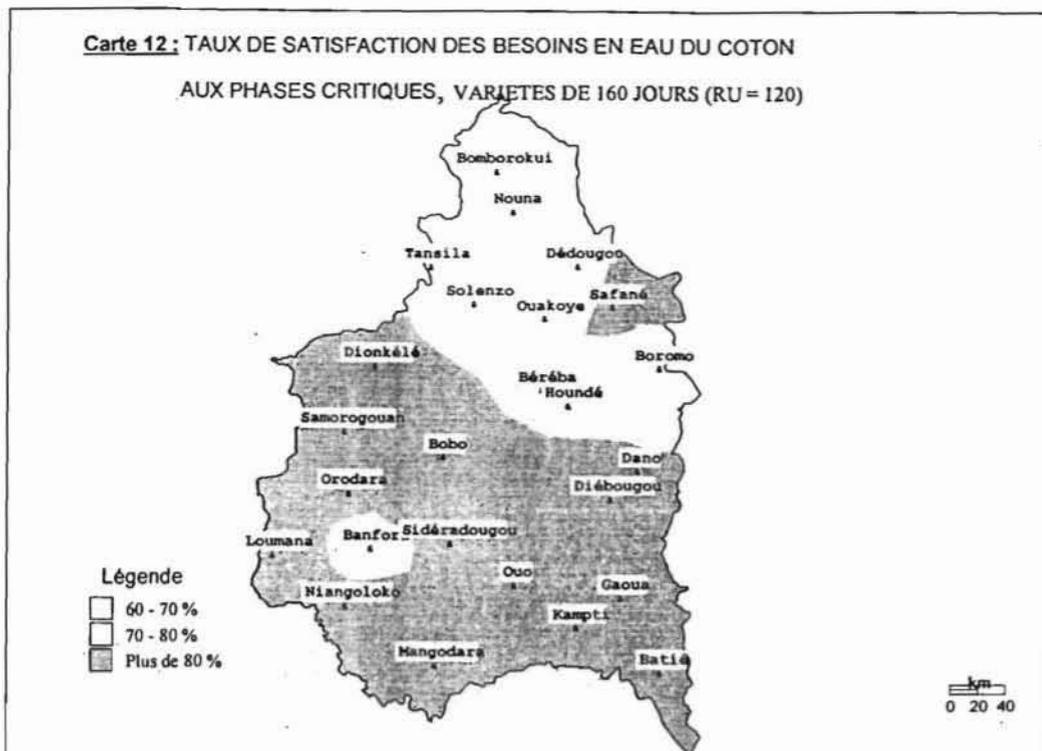


Figure 13 : Période favorable de semis du coton 160 jours, RU = 60



**Carte 12:** Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 160 jours, RU = 120 mm/m.



**Carte 13:** Taux de satisfaction des besoins en eau du coton aux phases critiques, variété de 160 jours, RU = 90 mm/m.



### **6.2.3. CONCLUSION SUR LE ZONAGE DU COTON**

Les semis optimum du coton sont à réalisés, 8 ans sur 10, dans le mois de mai et ce, quelle que soit la variété. Ils doivent commencer plus tôt avec les variétés tardives pour faire coïncider leur phase sensible avec la période où l'offre en eau est optimum. Dans tous les cas, c'est dans la partie sud et sud-ouest de la région étudiée (située sous l'isohyète 900) que la culture du cotonnier paraît la mieux indiquée. Ces résultats confortent ceux obtenus par Mugishawimana (2000) qui était parvenu aux mêmes conclusions dans l'Ouest du Burkina. Les bonnes terres (réserve utile élevée) permettront alors de mieux optimiser ces semis. L'utilisation de terres à RU faible nécessitera d'envisager des techniques agricoles qui permettent d'accroître la rétention en eau du sol et de parer au stress hydrique dans la phase critique de la culture.

### 6.3. ZONAGE DU MAÏS.

#### 6.3.1. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU MAÏS DE 90 JOURS.

- Le maïs de 90 jours trouve dans l'ensemble sites les conditions optimum pour la satisfaction à 80 % de ses besoins en eau à la RU de 120 mm/m comme l'indiquent la figure 14 et la carte 14. Le temps dont dispose l'agriculteur pour réaliser les semis varie entre 25 jours et 75 jours. La période favorable de semis la plus longue s'observe à Bobo, Loumana et Niangoloko. Dans ces zones, on peut semer de la cinquième pentade de mai à la première pentade d'août. La période favorable de semis la plus courte se rencontre à Ouarkoye où les semis sont à réaliser entre les troisièmes pentades de juin et juillet.

- A la RU de 90 mm/m (figure 15 et carte 15), une différenciation des stations s'observe dans la satisfaction des besoins en eau de la culture du maïs de 90 jours. En effet, à cette réserve utile, tandis que la plupart des sites permettent une satisfaction à 80 % de l'alimentation hydrique de la culture, la zone de Nouna perd ces conditions et n'offre à la culture que 70 % de ses besoins en eau. Aussi, doit-on s'empresser de semer dans cette zone, entre la troisième pentade de juin et la quatrième de juillet.

Dans la quasi-totalité des sites restant, les semis commenceront avec un retard d'une à deux pentades par rapport à ceux réalisés sur les sols où la RU est de 120 mm/m. De même, l'arrêt des semis y sera plus précoce avec un décalage du même ordre que celui qui est observé en ce qui concerne le début des semis.

- A la RU de 60 mm/m (figure 16), on observe également la même tendance dans la réduction de la période favorable de semis sur tous les sites. Six sites n'offrent plus, à ce niveau de la RU, les conditions optimum de réalisation de la culture et s'apparentent ainsi à la zone de Nouna. Il s'agit de la zone de Bomborokuy, Dédougou, Ouarkoye, Safané, Solenzo et Tansila. Les semis débiteront alors dans la deuxième pentade de juin à Dédougou, Nouna, Solenzo et Tansila et à la pentade suivante à Bomborokuy, Ouarkoye et Safané. On devra avoir terminé les semis en fin juin à Ouarkoye, dès la première pentade de juillet à Bomborokuy, Dédougou et Tansila, une pentade plus tard à Nouna et à la troisième pentade de juillet à Safané et Solenzo.

Figure 14 : Période de semis favorables du maïs 80 jours, RU = 120

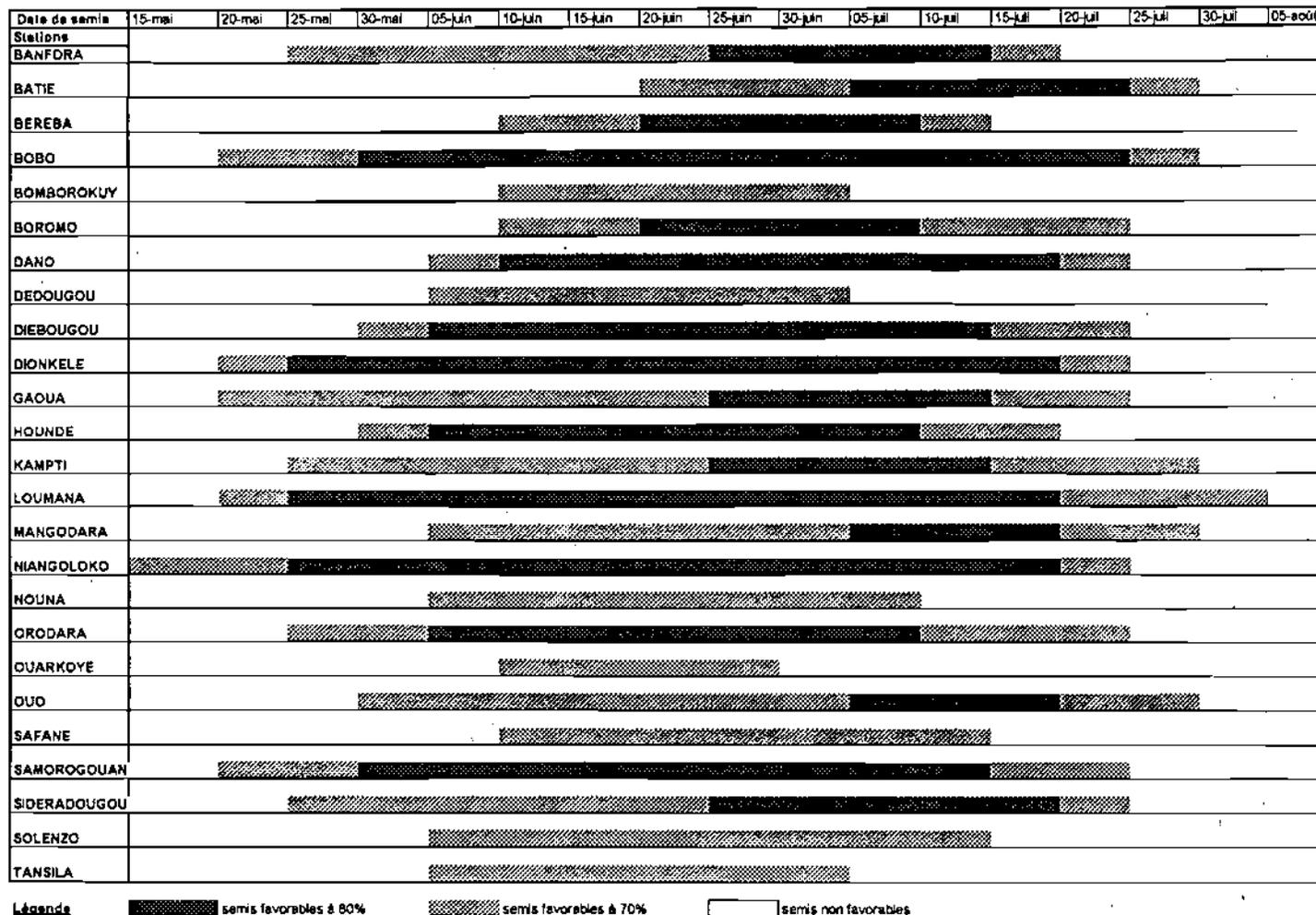


Figure 15 : Période de semis favorables du maïs 90 jours, RU = 90

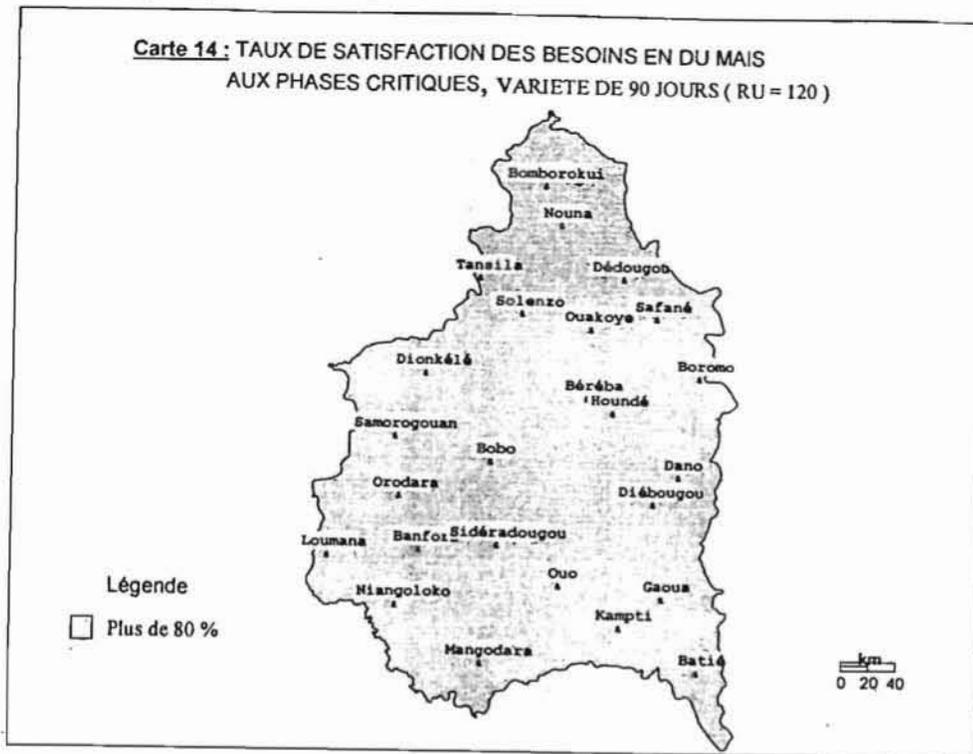


Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

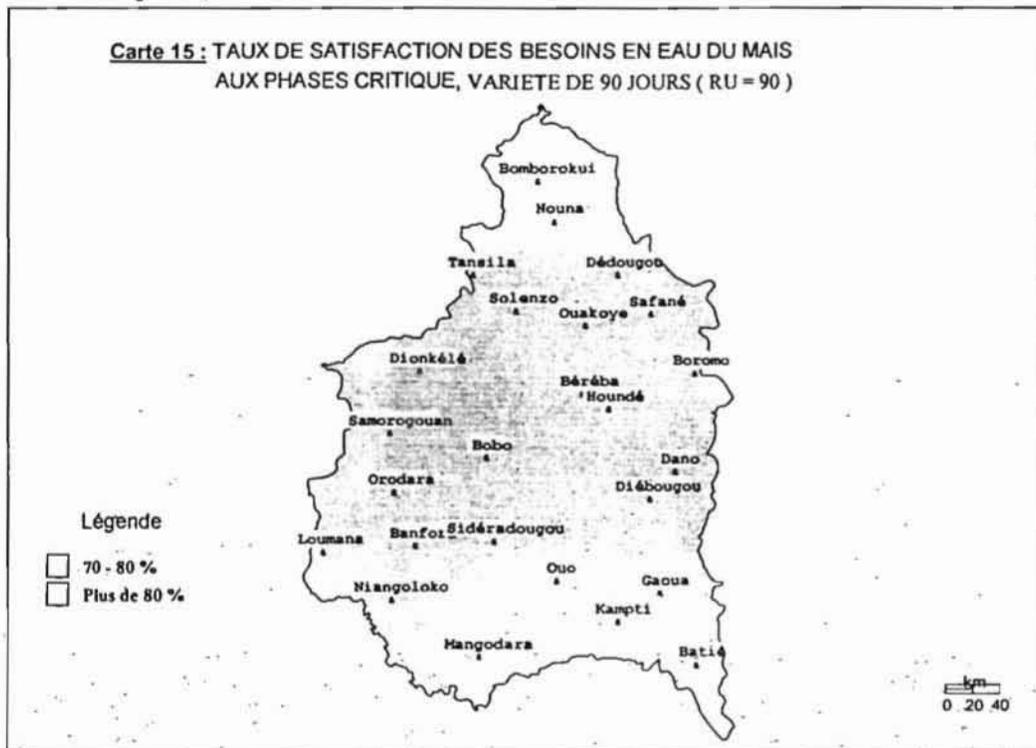
Figure 18 : Période de semis favorables du maïs 90 jours, RU = 80



**Carte 14:** Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 90 jours, RU = 120 mm/m.



**Carte 15:** Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 90 jours, RU = 90 mm/m.



### 6.3.2. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU MAÏS DE 110 JOURS.

Deux zones se dégagent des l'analyse des figures 17 et 18 et des cartes 16 et 17.

- La première zone, située au dessus de la ligne Solenzo-Ouarkoye, est constituée par les stations qui ne réunissent pas les conditions hydriques d'une satisfaction à 80 % des besoins du maïs 110 jours à la RU de 120 mm/m. Ces stations sont : Bomborokuy, Dédougou, Nouna, Safané et Tansila. Les semis doivent y être réalisés de la troisième à la cinquième pentade de mai pour être sûr d'atteindre au moins un TSBE de 70 %. En fonction des stations de cette zone, la fin des semis sera réduite d'une à deux pentades à la RU de 90 mm/m (figure 18). Cependant, les semis débiteront pratiquement à la même période que ceux réalisés sur les parcelles à RU de 120 mm/m. Il en sera de même à la RU de 60 mm/m par rapport à la RU de 90 mm/m. Nouna se retrouve ainsi dans des conditions défavorables à la culture du maïs de 110 jours (figure 19).

- La seconde zone comprend le reste des sites situés au dessous de la ligne Solenzo-Ouarkoye. Dans cette zone, le maïs de 110 jours peut être produit sur les sols à RU de 120 mm/m avec l'assurance que le TSBE dépassera 80 %. Les semis s'étaleront alors de la cinquième pentade de mai à la troisième pentade de juillet dans les meilleurs cas (Loumana et Niangoloko). Ils se limiteront de la troisième à la cinquième pentade de juin dans les zones difficiles (Solenzo, Béréba). A Ouarkoye, le producteur ne pourra semer que dans la troisième pentade de juin (figure 17).

A la RU de 90 mm/m, le TSBE dans cette localité baisse à 70 %. Dans les autres sites de la zone, on peut toujours semer au taux de 80 %. Cependant, on réduira d'une à deux pentades, le début et la fin de la période favorable (figure 18). Cette logique dans la réduction de la période favorable de semis en fonction de la baisse de la RU s'applique également à la RU de 60 mm/m. C'est ainsi que certains sites perdent les conditions d'une satisfaction à 80 % des besoins en eau du maïs de 110 jours et se retrouvent ainsi avec un TSBE de 70 %. Il s'agit de Batié, Béréba, Gaoua, Kampti et Solenzo (figure 19).

Figure 17 : Période de semis favorable du maïs 110 jours, RU = 120

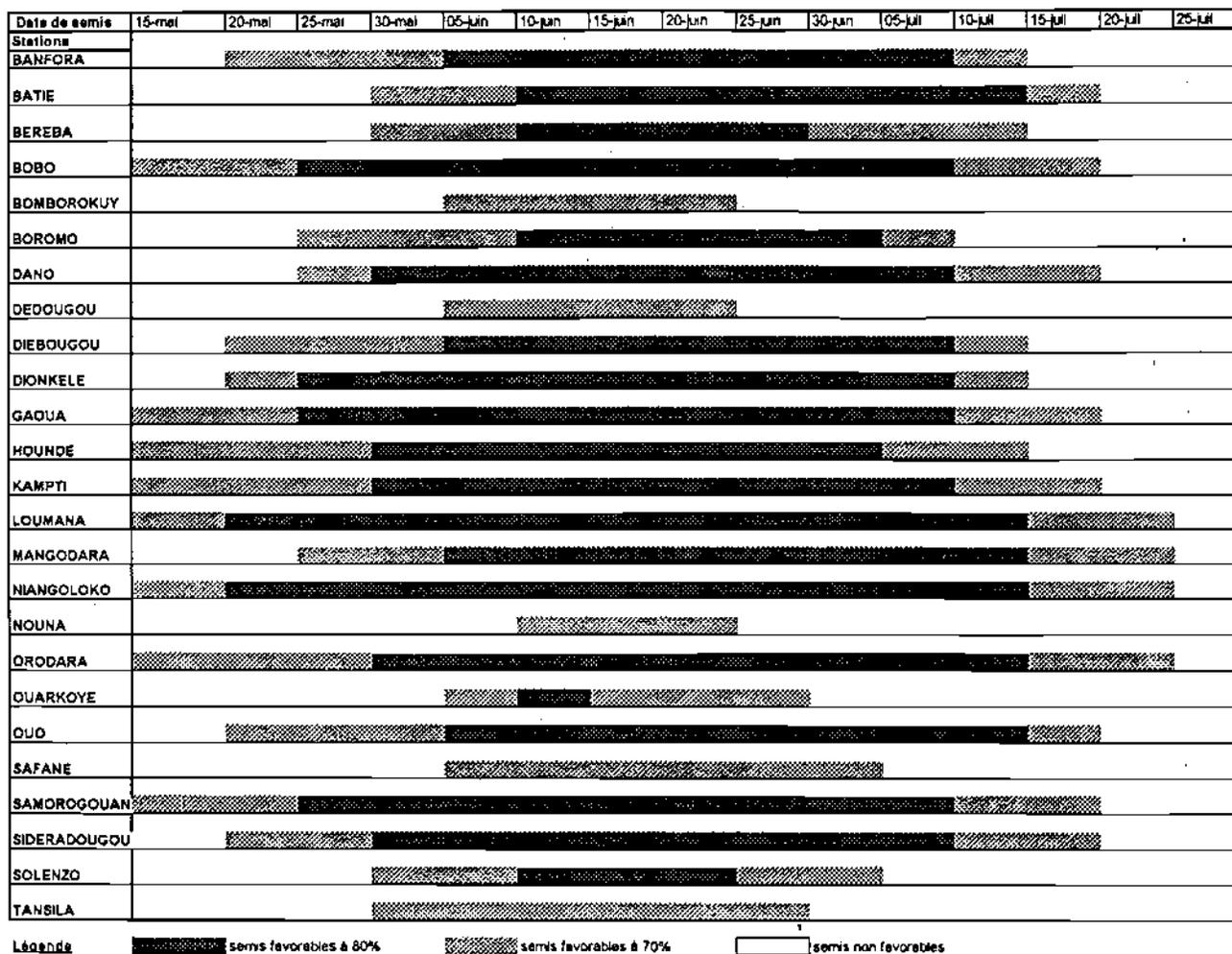
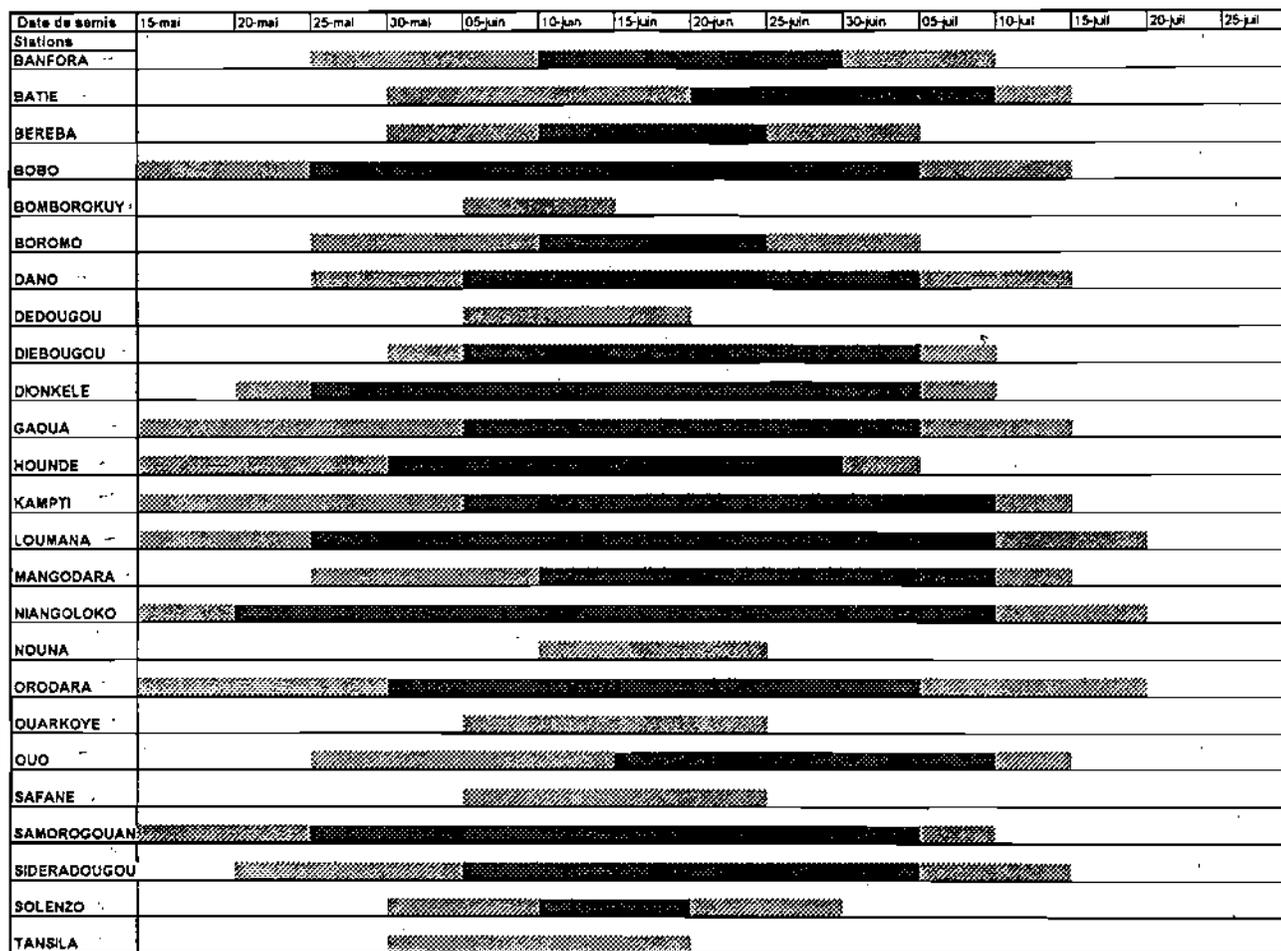
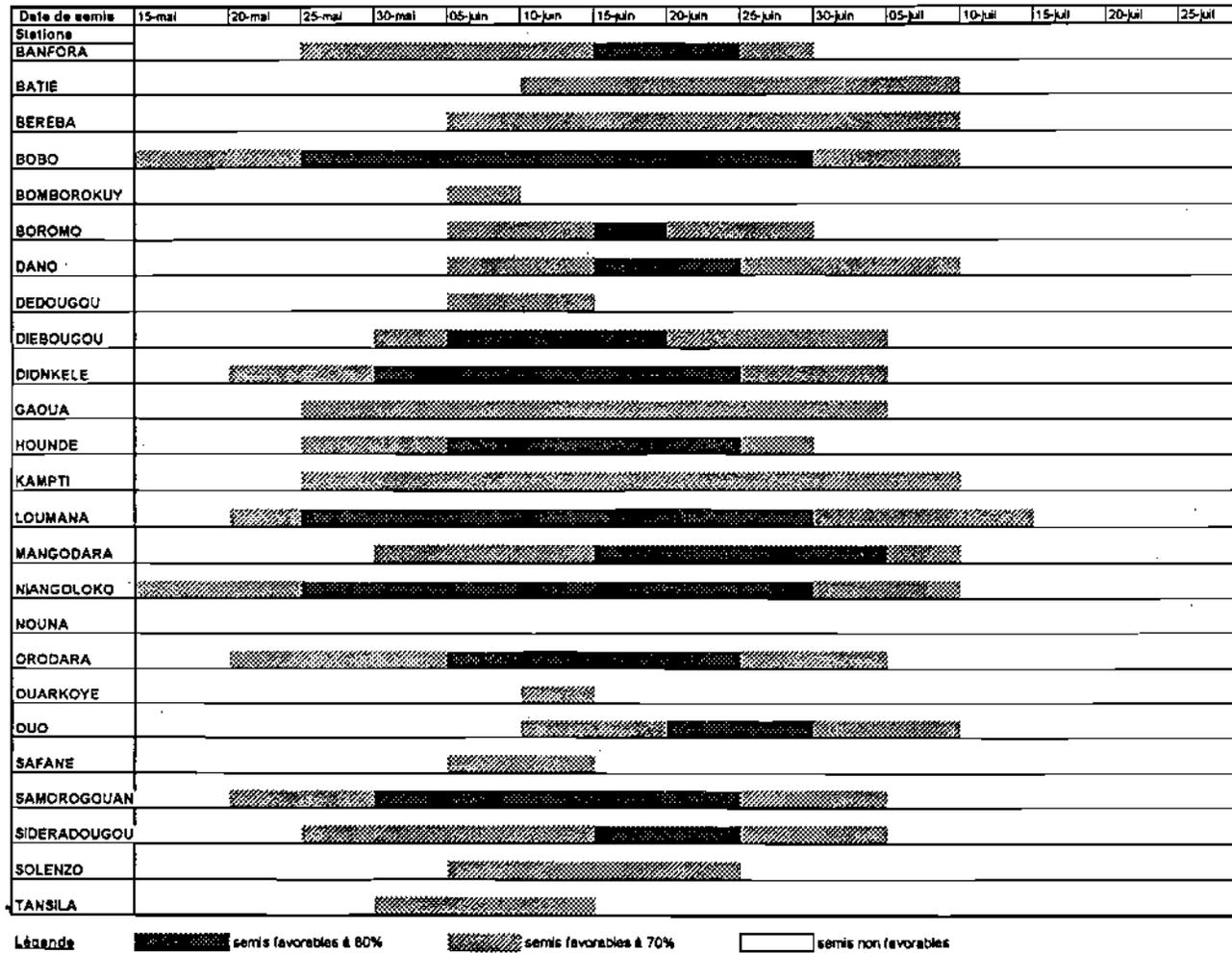


Figure 18 : Période de semis favorable du maïs 110 jours, RU = 90

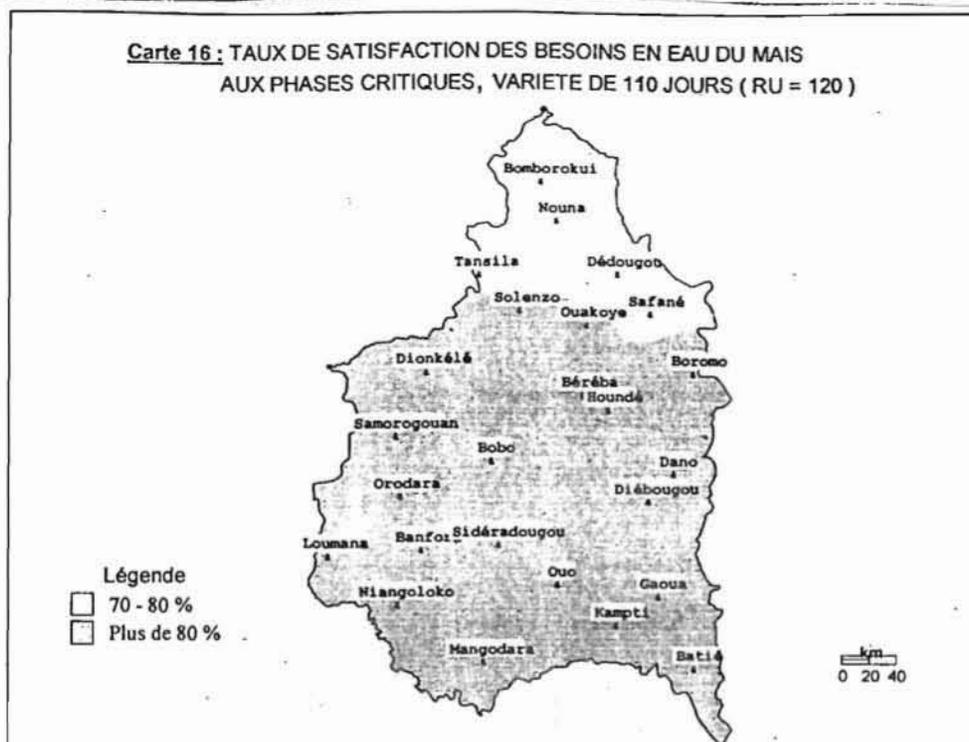


Légende  semis favorables à 60%  semis favorables à 70%  semis non favorables

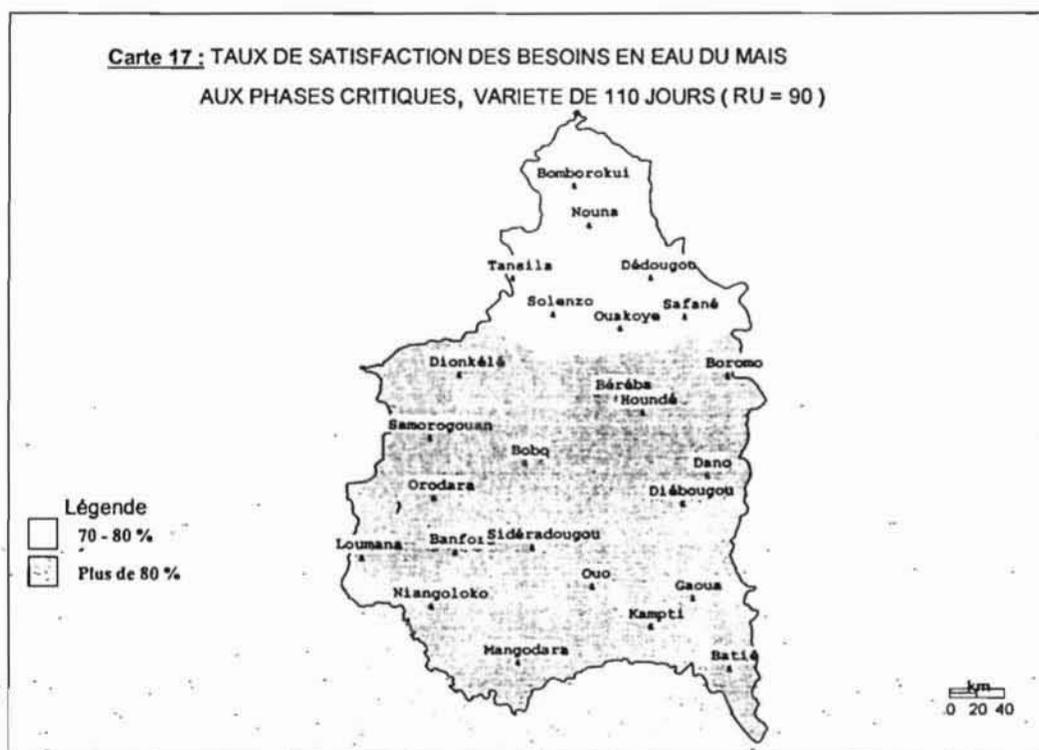
Figure 19 : Période de semis favorable du maïs 110 jours, RU = 80



**Carte 16:** Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 110 jours, RU = 120 mm/m



**Carte 17:** Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs aux phases critiques, variété de 110 jours, RU = 90 mm/m



### 6.3.3. PERIODE OPTIMUM DE SEMIS DU MAÏS DE 130 JOURS.

On distingue trois zones dans la spatialisation du TSBE du maïs de 130 jours.

- La première zone correspond à la région de Nouna qui n'offre pas les conditions hydriques nécessaires à la culture de ce type de variétés de maïs, quel que soit le niveau de la RU. Pour une RU de 60 mm/m, cette zone s'étend aux régions de Bomborokuy, Dédougou et Tansila.
- La deuxième zone réunit les régions qui, à défaut de permettre une satisfaction de 80 % de l'alimentation hydrique de ce type de variétés, autorisent leur culture au taux de 70 % : les semis débuteront dans la cinquième pentade de mai à Bomborokuy et Tansila, et dans la pentade suivante à Béréba, Dédougou, Ouarkoye, Safané et Solenzo. La fin des semis interviendra dans la première pentade de juin à Bomborokuy, dans la deuxième pentade à Dédougou et Ouarkoye et dans la troisième pentade de juin à Safané et Tansila. A Solenzo, on ne sèmera plus au-delà de la quatrième pentade de mai et après la cinquième pentade pour ce qui est de Béréba (figure 20).

Dans cette zone, le passage d'une parcelle à RU de 120 mm/m à une autre dont la RU est de 90 mm/m se traduit par une réduction du début et/ou de la fin de la période de semis optimum de deux pentades au maximum. La zone est agrandie d'abord par la région de Ouou à la RU de 90 mm/m (figure 21) puis par celles de Banfora, Batié, Boromo, Diébougou, Gaoua, Houndé, Kampti, Mangodara et Sideradougou à la RU de 60 mm/m (figure 22). Cela en raison de la chute du TSBE de la culture (de 80 % à 70 %) à ces différentes RU du sol.

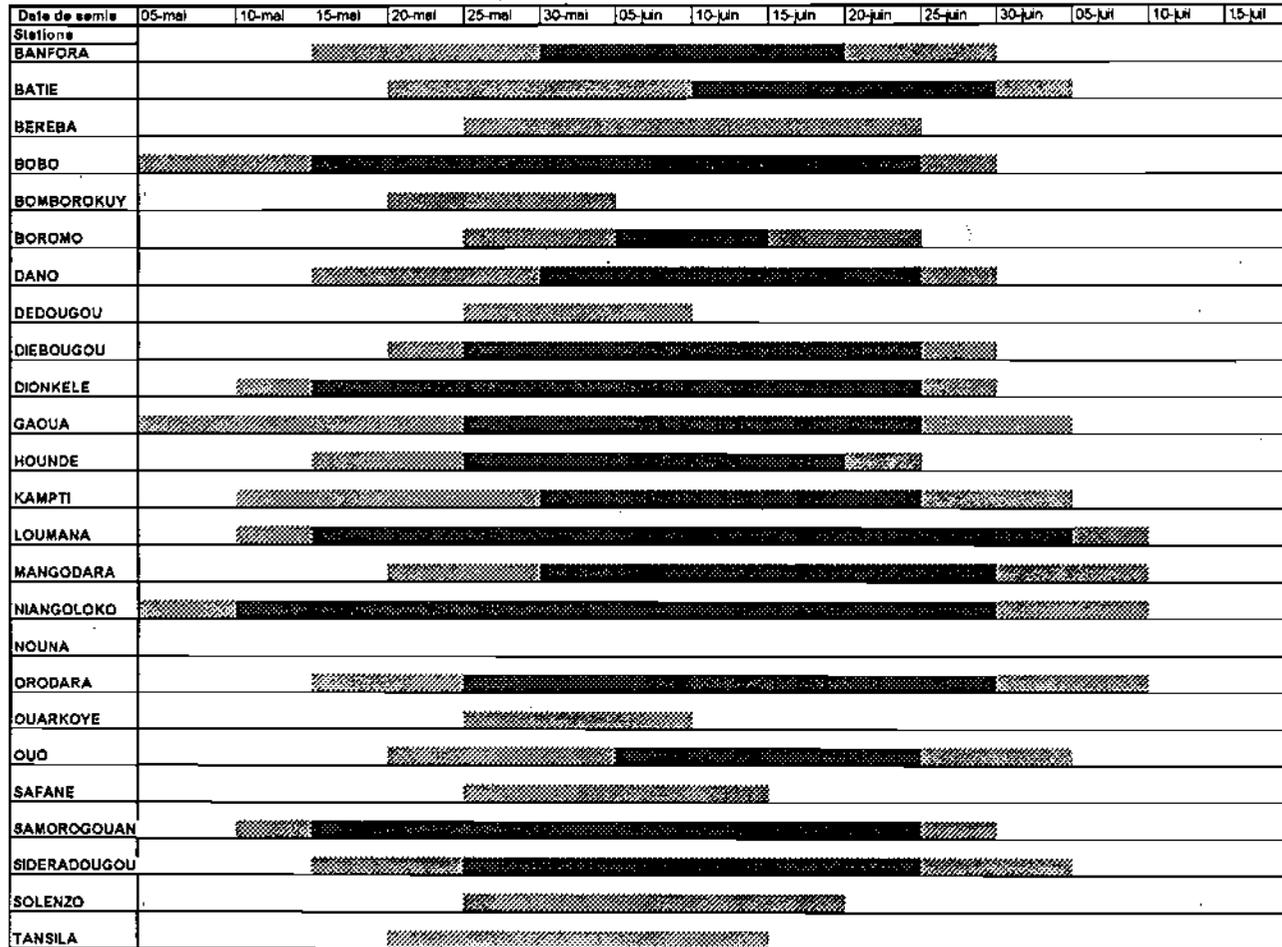
- La troisième zone regroupe les régions qui sont aptes à la production du maïs 130 jours avec un TSBE de 80 % (RU de 120 mm/m). Il s'agit des sites situés dans la moitié sud de la région Ouest (Banfora, Batié, Bobo, Dano, Diébougou, Dionkélé, Gaoua, Kampti, Loumana, Mangodara, Niangoloko, Samorogouan et Sideradougou) auxquels il faut adjoindre quelques sites austraux de la moitié nord (Houndé et Boromo). Le début des semis ne se présente pas de façon homogène dans toute la zone. Il se situe entre la deuxième pentade de mai et la troisième pentade de juin en fonction des sites. Par exemple, les semis débuteront à la troisième pentade de mai à Niangoloko tandis qu'à Boromo il faudra attendre la deuxième pentade de juin. Par contre, la fin des semis se présente de manière assez homogène dans la quasi-totalité de la zone. Elle se situe aux alentours de la sixième pentade de juin (figure 20).

Cette zone se réduit à la RU de 90 mm/m car la zone de Ouou ne satisfait plus qu'à 70 %, les exigences hydriques de la culture. A cette réserve utile également, le début des semis est

plus hétérogène en fonction des sites que la fin. Il se situe entre la troisième pentade de mai et la quatrième pentade de juin. Ce qui traduit une réduction d'au moins une pentade dans toute la zone. Quant à la période de fin de semis, elle se situe autour de la quatrième pentade de juin (figure 21). On remarque alors une réduction également d'au moins une pentade dans la fin des semis.

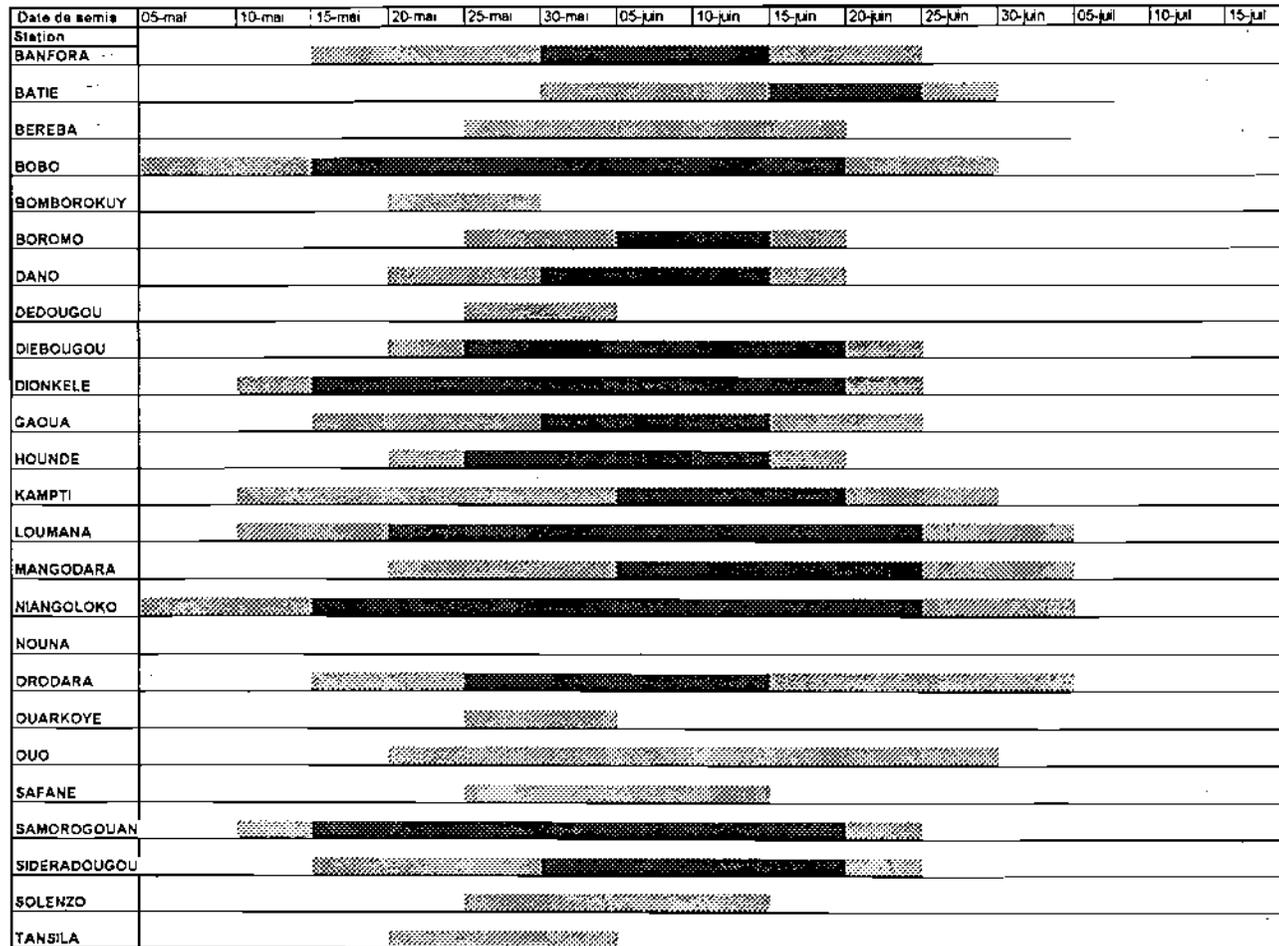
A la RU de 60 mm/m, seuls sept sites constituent cette zone comme le montre la figure 22. Les semis peuvent débuter à partir de la cinquième pentade de mai à Dionkélé, Loumana et Samorogouan et à la pentade six de mai à Bobo. Les semis prendront fin avec la quatrième pentade de juin à Bobo, Loumana et Samorogouan et avec la troisième pentade de juin à Dionkélé. Les semis se feront en deux pentades à Dano, Niangoloko (pentades 2 et 3 de juin) et Orodara (deux premières pentades de juin).

Figure 20 : Période de semis favorable du maïs 130 jours, RU = 120



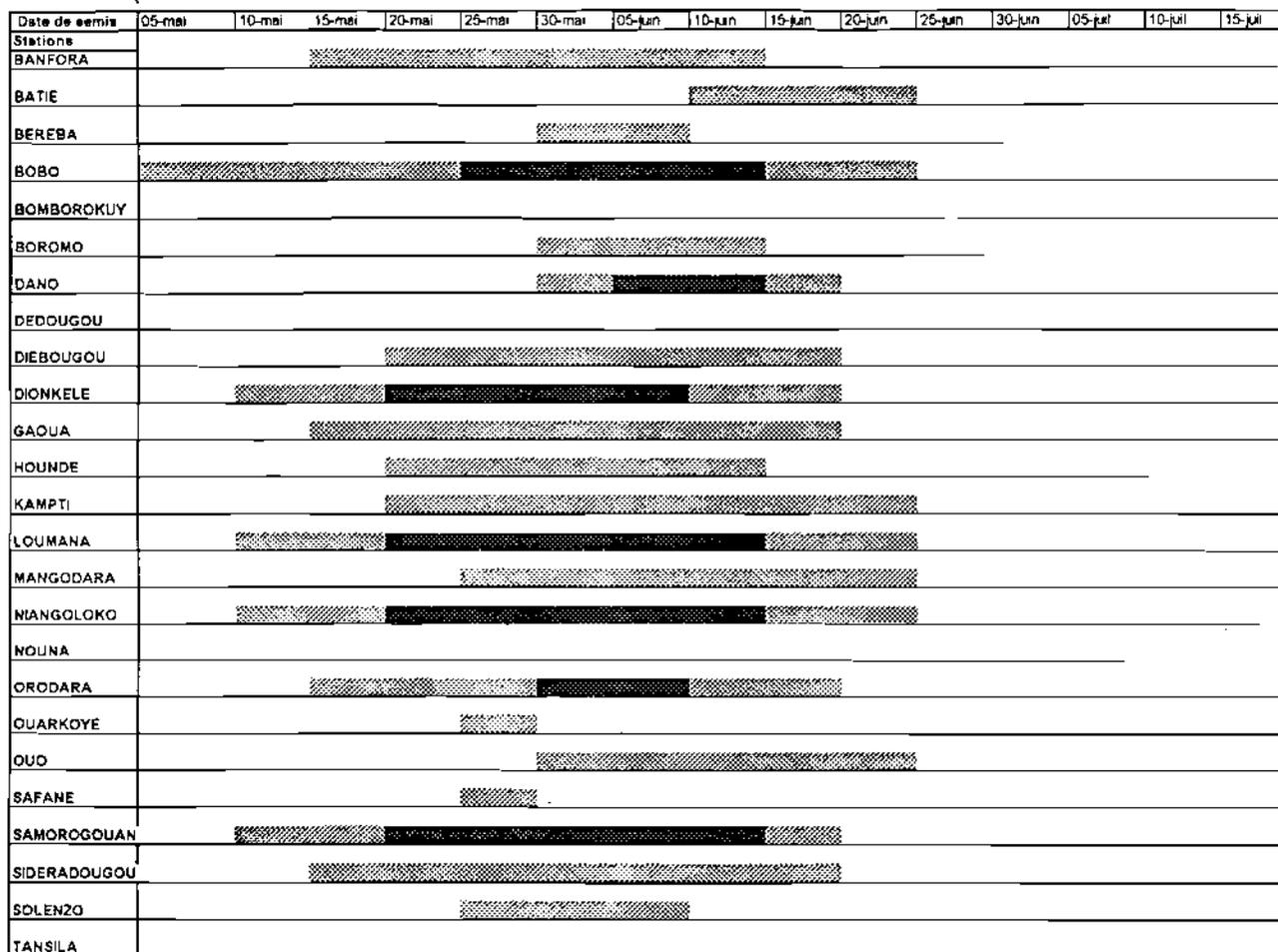
Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

Figure 21 : Période de semis favorable du maïs 130 jours, RU = 90



Légende  semis favorables à 80%  semis favorables à 70%  semis non favorables

Figure 22 : Période de semis favorable du maïs 130 jours, RU = 60



Légende [Solid black] semis favorables à 80% [Hatched pattern] semis favorables à 70% [White] semis non favorables

#### **6.3.4. CONCLUSION SUR LE ZONAGE DU MAÏS.**

Les besoins en eau du maïs peuvent être satisfaits dans la quasi-totalité des sites étudiés surtout si les semis sont réalisés sur les bonnes terres ( $RU \geq 120 \text{ mm/m}$ ). Cette opportunité s'amointrit avec la baisse de la réserve utile. Elle s'améliore cependant si on produit des variétés à cycle court. Les périodes favorables pour des semis du maïs vont de mi-mai à fin juillet, mais sa durée réelle dépend surtout de la longueur du cycle de la variété et du niveau de la RU du sol.

Contrairement aux cultures de riz et de coton, le maïs semble plus adapté à la région Ouest du Burkina qui correspond à notre zone d'étude. En effet, même les variétés à cycle long (130 jours) ont généralement une période favorable de semis plus longue que les variétés à cycle court du riz pluvial et du coton. Cela signifie que le producteur pourrait avoir plus de temps avec le maïs pour réaliser des semis optimum voire les reprendre en cas de besoin qu'avec le riz pluvial ou le coton.

## CHAPITRE 7 : LES RENDEMENTS ESPERES.

Les fonctions de production déterminées à partir des indices de rendements espérés des tests démonstratifs et les rendements correspondants ont fourni des coefficients de détermination très faibles, de l'ordre de 0.003 à 0.14 (annexe 15) pour l'ensemble des trois cultures. Ce qui signifie que le facteur alimentation hydrique explique au maximum à 14 % les rendements de la zone.

De tels résultats pourraient se justifier par l'origine des données pluviométriques utilisées, mais aussi par celle des rendements obtenus. En effet, les données pluviométriques utilisées pour le calcul de l'IRESP ont été relevées sur des stations parfois éloignées de la parcelle. Vu la variabilité de la pluviométrie à l'intérieur d'une même zone climatique, l'IRESP estimé avec des données de ces stations pluviométriques pourrait être assez différente de celui que l'on peut estimer avec des données recueillies sur le site du test. Par ailleurs, les rendements des tests ont souvent été estimés à partir des carrés de rendement, ce qui ne fournit pas nécessairement les valeurs réellement atteintes.

En raison donc de la faiblesse du coefficient de détermination, on ne pourrait pas utiliser les relations obtenues pour calculer les rendements espérés. Aussi se limitera-t-on à la présentation des résultats des IRESP auxquels on peut s'attendre, 8 années sur 10, dans la région Ouest du Burkina. En effet, l'IRESP permet d'avoir une idée sur le potentiel de production des cultures.

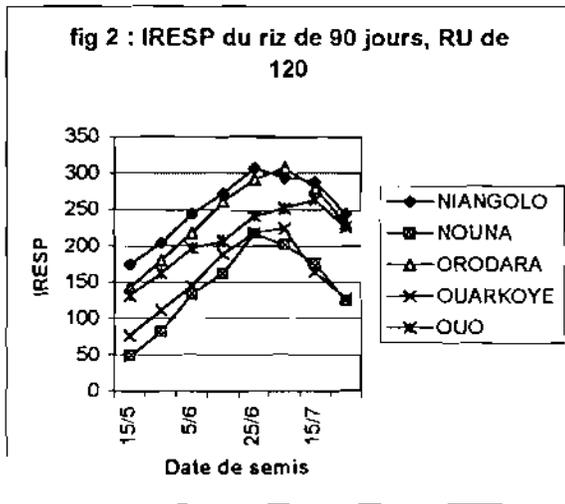
## 7.1. IRESP DU RIZ PLUVIAL.

La variation de l'IRESP en fonction de la date de semis dépend de la variété cultivée, de la localité et de la réserve utile du sol. En effet, dans la région Ouest, la valeur maximum atteinte, 8 années sur 10, est plus élevée avec le riz de 100 jours que le riz de 90 jours. Ces valeurs correspondent à des semis réalisés aux meilleures dates. Cependant, lorsque les semis arrivent tardivement, l'IRESP affiche ses meilleures valeurs avec la variété de 90 jours (figure 23 à 26). La tendance s'inverse si les semis sont précoces. Les écarts entre les variétés augmentent du nord vers le sud. Le riz de 90 jours a des IRESP proches de ceux du riz de 100 jours au nord, alors qu'au sud de la région, l'écart entre les IRESP ces deux types de variété se creuse. Ainsi, pour des semis réalisés entre le 25 juin et le 05 juillet à Nouna, la différence entre le riz de 90 jours et celui de 100 jours est pratiquement nulle. Cependant, à Niangoloko, elle se situe autour de 30. Cela signifie que dans la partie Nord où certains sites autorisent encore la culture du riz pluvial au taux de 70 % de TSBE, l'agriculteur économiserait plus de temps et d'énergie en produisant du riz de 90 jours que le riz à cycle plus long (exemple de Solenzo et de Safané). Par contre, dans le sud, la différence qui apparaît entre les deux variétés permettrait de réaliser un surplus de gain dans la récolte en cultivant le riz de 100 jours. Mais le producteur doit tenir compte des avantages qu'apporterait une variété précoce par rapport à une variété tardive lorsque les semis sont retardés (semis tardifs au taux de 70 %). Ayant alors l'IRESP le plus élevé, le riz de 90 jours constitue de ce fait la meilleure spéculation en cas d'installation capricieuse des pluies. La partie Sud-Ouest de la zone d'étude présente généralement des IRESP plus élevés que dans la partie Sud-Est (exemple de Ouo et Orodara, carte 18).

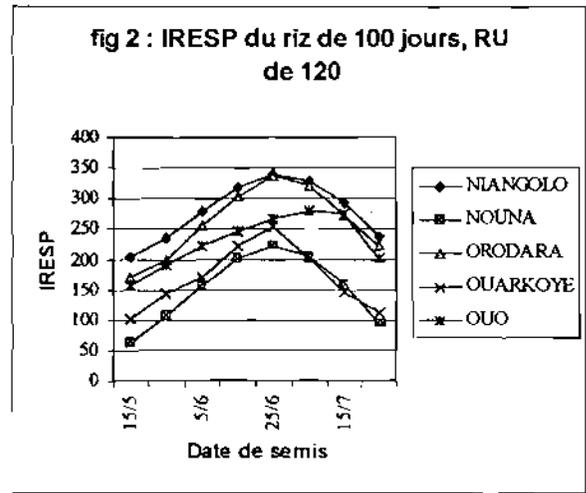
Pour ce qui est de la réserve utile, on peut constater dans la partie Nord de la zone d'étude, qu'il n'y a pas de différence notable entre les IRESP obtenus à la RU de 90 mm/m et ceux de la RU de 120 mm/m. Cependant, cette différence augmente légèrement dans sa partie Sud avec des IRESP plus élevés à la RU de 120 mm/m (figures 23 et 25, figures 24 et 26). Cela se traduit sur les cartes 19 et 21 par un étalement de la zone à fort IRESP comparativement à ce qu'on observe sur les cartes 18 et 20.

La faiblesse des écarts entre les IRESP aux RU de 90 et 120 mm/m traduit, comme l'a déjà noté Somé (1984), l'insuffisance des pluies actuelles à assurer, 8 ans sur 10, une réserve utile de 120 mm/m pendant une grande partie du cycle.

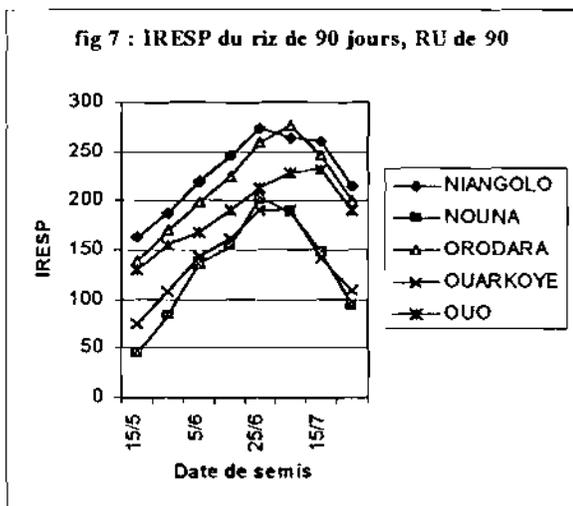
**Figure 23:** IRESP du riz de 90 jours, RU de 120 mm/m



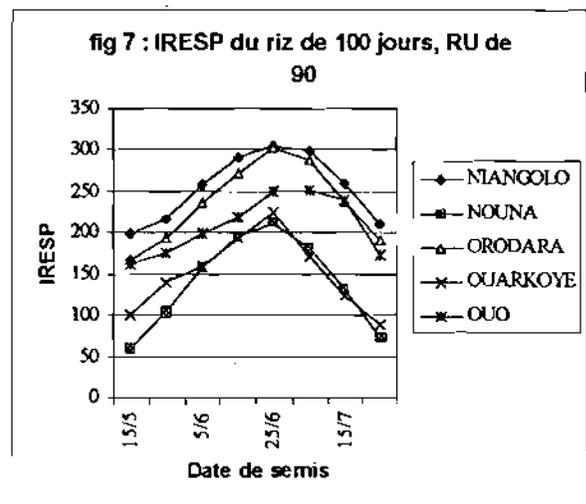
**Figure 24:** IRESP du riz de 100 jours, RU de 120 mm/m



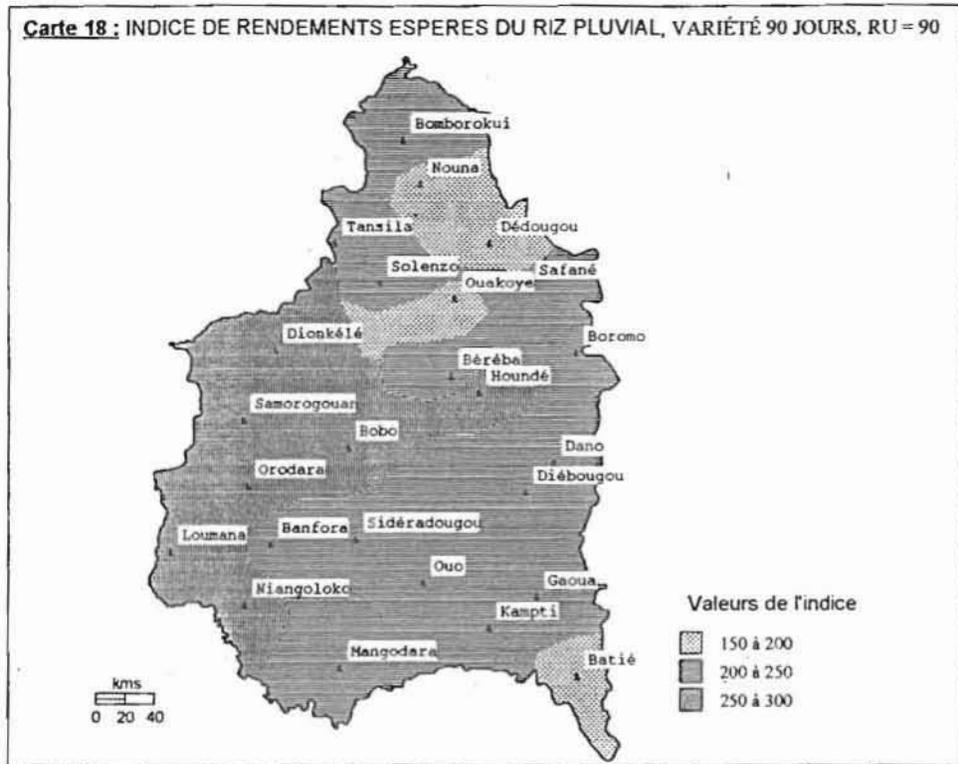
**Figure 25:** IRESP du riz de 90 jours, RU de 90 mm/m



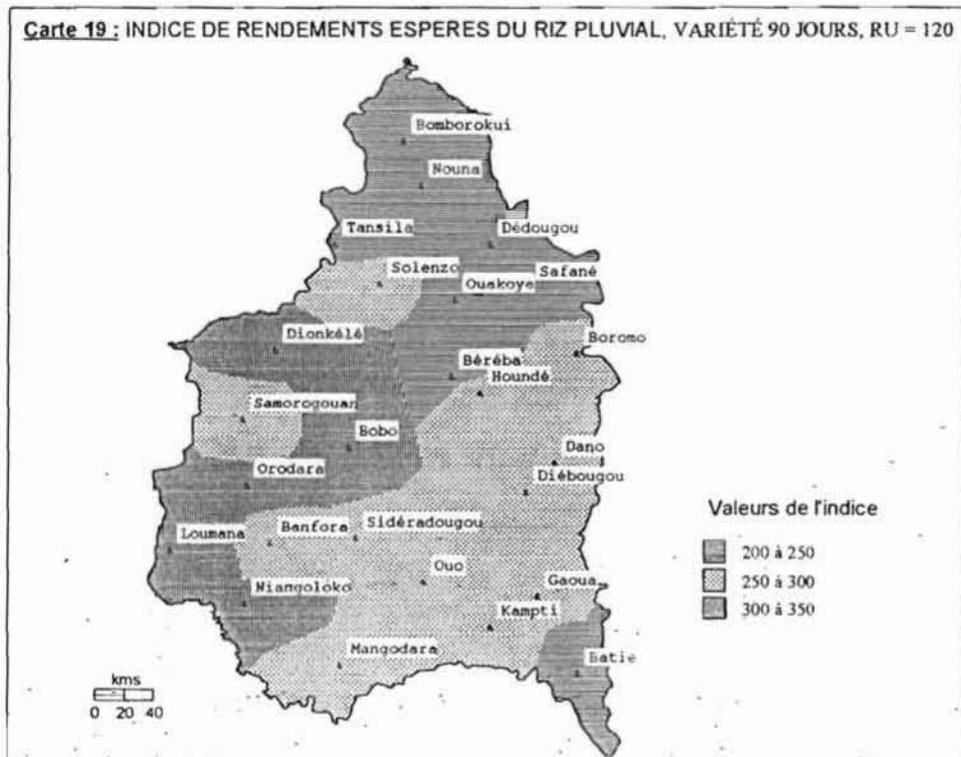
**Figure 26:** IRESP du riz de 100 jours, RU de 90 mm/m



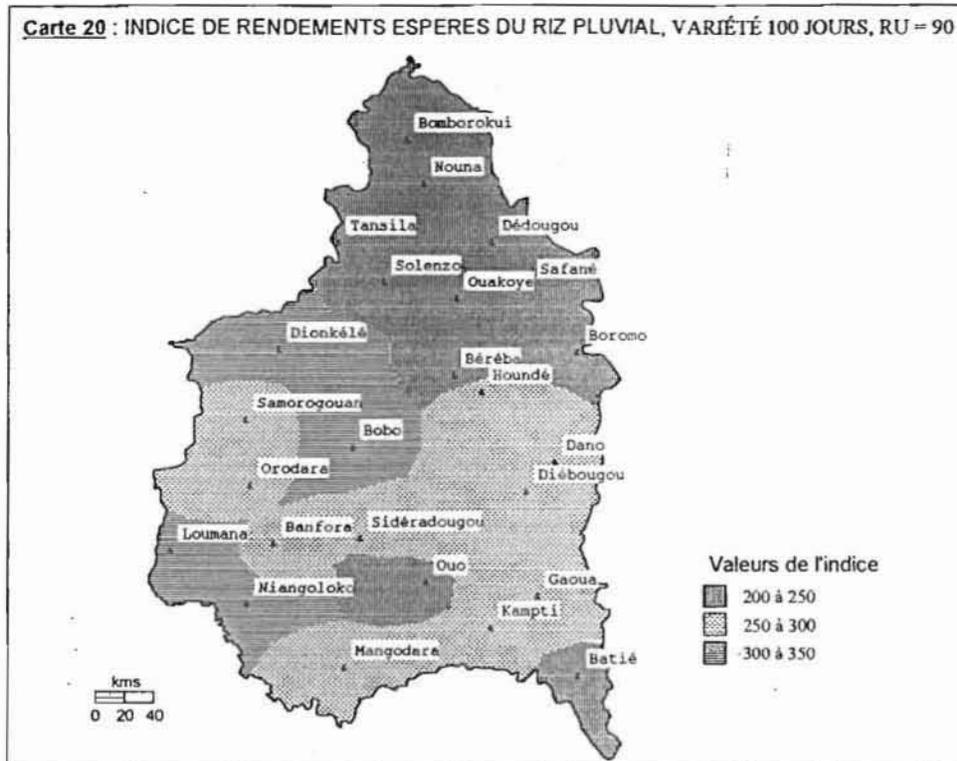
**Carte 18:** Indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours, RU = 90 mm/m



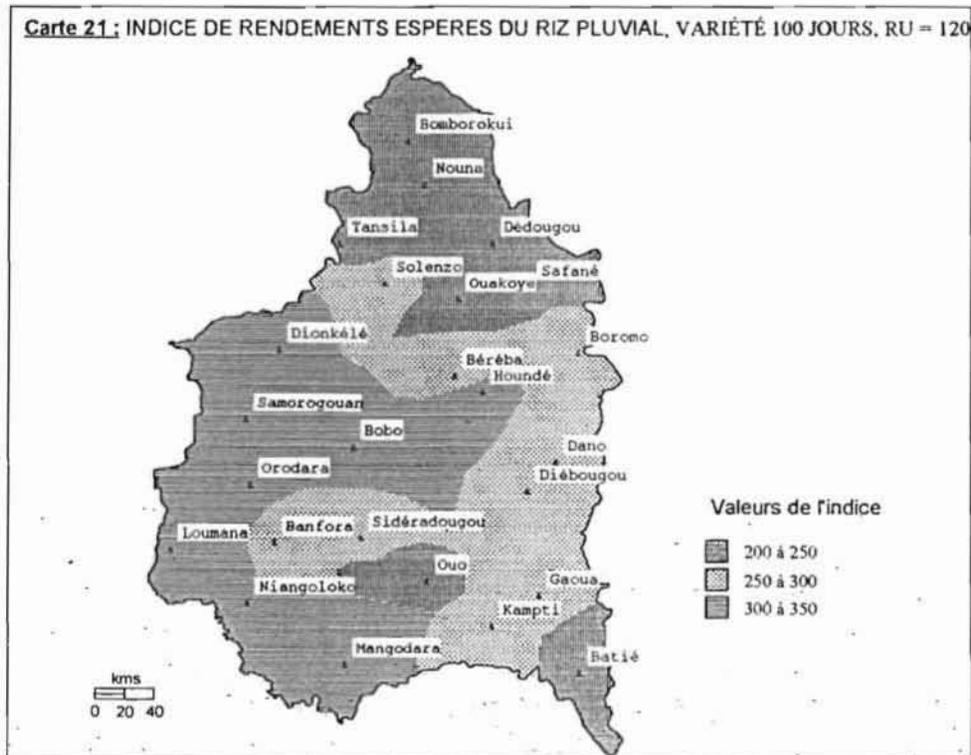
**Carte 19:** Indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours, RU = 120 mm/m



**Carte 20:** Indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours, RU = 90 mm/m



**Carte 21:** Indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours, RU = 120 mm/m



## 7.2. IRESP DU COTON.

Les courbes des indices de rendement espérés commencent pratiquement à un niveau maximum pour les variétés de 160 jours (annexes 11a à 11c). Ce maximum est décalé dans le temps pour la variété de 135 jours (annexes 10a à 10c). Cela corrobore les résultats de la simulation des dates de semis qui situent les meilleures dates dès le début des simulations pour la variété tardive et qui décale celle des variétés de 135 jours.

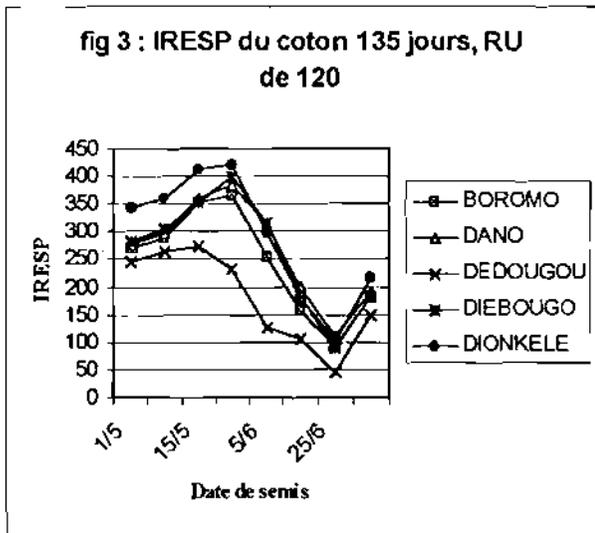
Pour des semis réalisés aux meilleures dates, la valeur de l'IRESP est d'autant plus faible que le cycle de culture est court. Ainsi, le coton de 135 jours permet d'obtenir des IRESP de l'ordre de 400 par exemple à Diébougou pour des semis réalisés le 15 mai, contre un IRESP de 450 avec le coton 160 jours. Mais à l'image des résultats obtenus avec le riz pluvial, les IRESP du cotonnier sont plus élevés avec la variété à cycle réduit qu'avec celle à cycle tardif, lorsque les semis sont effectués tardivement (figures 27 et 28, figures 29 et 30). En d'autres termes, les variétés de 160 jours sont préconisées pour des semis optimum et celles de 135 jours lorsqu'on est contraint à des semis tardifs.

Par ailleurs, les cartes 22 à 25 mettent en évidence un important gradient d'indice de rendement espéré entre le nord et le sud. Les sites situés au nord de la zone étudiée présentent des IRESP plus faibles que ceux des sites du sud. Ainsi, dans l'extrême nord le maximum atteint avec les variétés de 160 jours, aux meilleures dates de semis, est situé entre 250 et 300 alors que dans le sud, il est entre 450 et 500. Pour les variétés de 135 jours, les valeurs maximales sont entre 200 et 250 dans le nord et montent entre 400 et 450 dans le sud. Ces résultats laissent percevoir une plus grande adaptabilité du coton dans la partie sud (principalement dans le sud-ouest) par rapport à la partie Nord qui se justifie par la meilleure pluviométrie de la zone sud. Ils confirment par ailleurs les résultats du zonage de la période favorable de semis du coton qui avaient révélé que la zone sud est la mieux indiquée pour la culture du coton sur le plan alimentation hydrique. C'est donc dans cette zone que le choix de la variété (cycle court ou cycle long) s'impose selon que les semis sont optimum ou tardifs. Dans le nord on devra surtout cultiver les variétés de 135 jours dans les sites où les conditions hydriques le permettent.

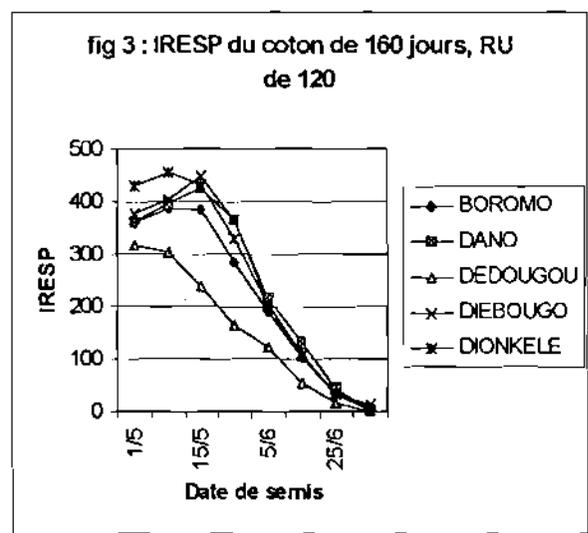
L'effet d'un accroissement de la réserve utile de 90 mm/m à celle de 120 mm/m se manifeste par un faible accroissement de l'IRESP, même dans les régions du sud (figures 27 et 29, figures 28 et 30). Pour le coton, il y a peu de différence entre ces deux réserves utiles. Pour les variétés de 135 jours, on note cependant à la RU 120 mm/m, un regain de l'IRESP pour les semis réalisés après le 25 juin. L'écart de la RU 120 à la RU 90 atteint et dépasse

alors parfois 150. Cette différence présente cependant peu d'intérêt pour l'agriculture pluviale stricte car il est obtenu avec des semis réalisés après la période favorable et à un TSBE inférieur à 70 %. Néanmoins, ce résultat est intéressant car il permet d'envisager une irrigation de complément qui améliorerait cet accroissement de l'IRESP et donc augmenterait le rendement de la variété de façon significative. Cette stratégie peut être adoptée lorsque les pluies sont tardives, renvoyant ainsi les semis au-delà de la période favorable.

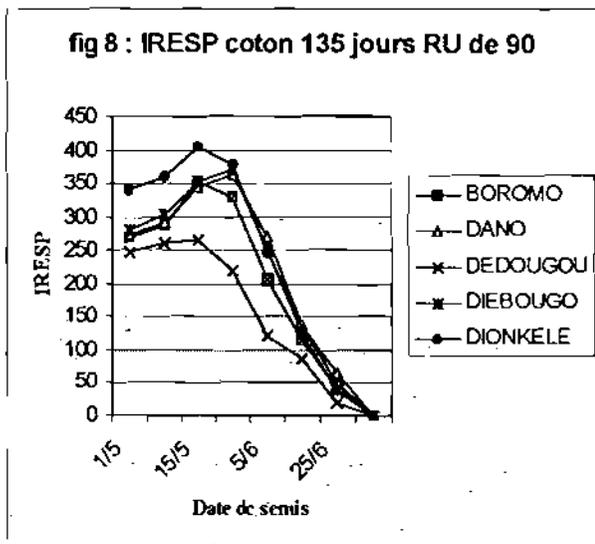
**Figure 27:** IRESP du coton de 135 jours, RU de 120 mm/m



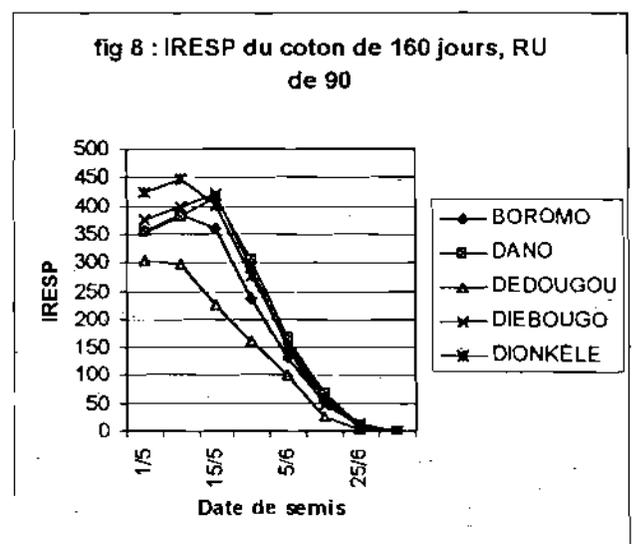
**Figure 28:** IRESP du coton de 160 jours, RU de 120 mm/m



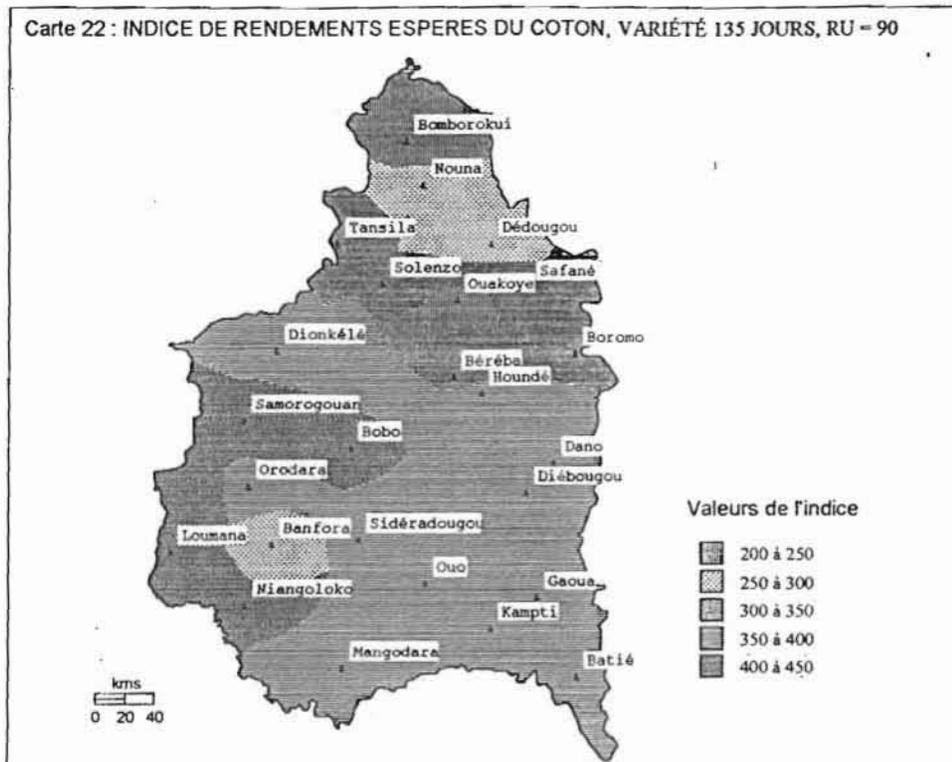
**Figure 29:** IRESP du coton de 135 jours, RU de 90 mm/m



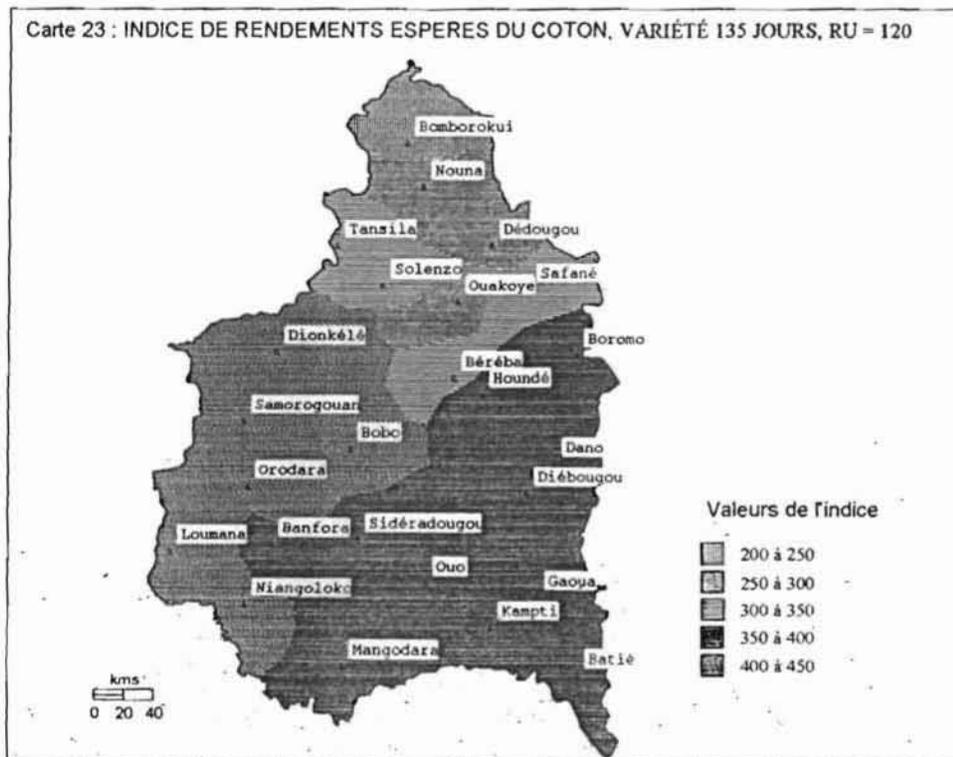
**Figure 30:** IRESP du coton de 160 jours, RU de 90 mm/m



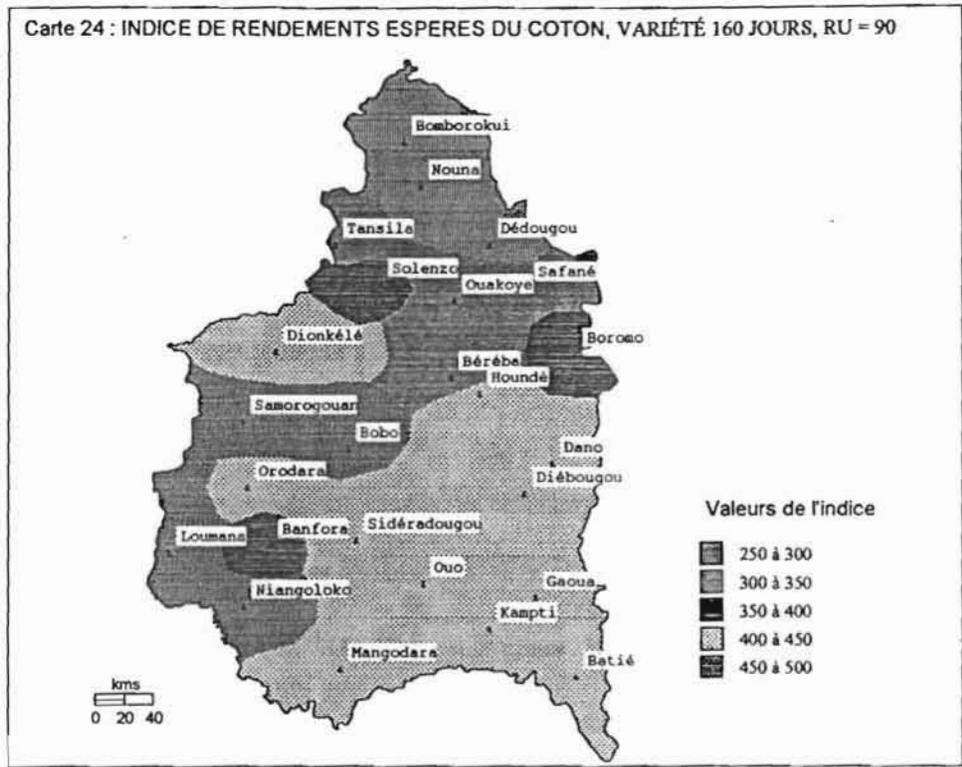
**Carte 22:** Indice de rendements espérés du coton de 135 jours, RU = 90 mm/m



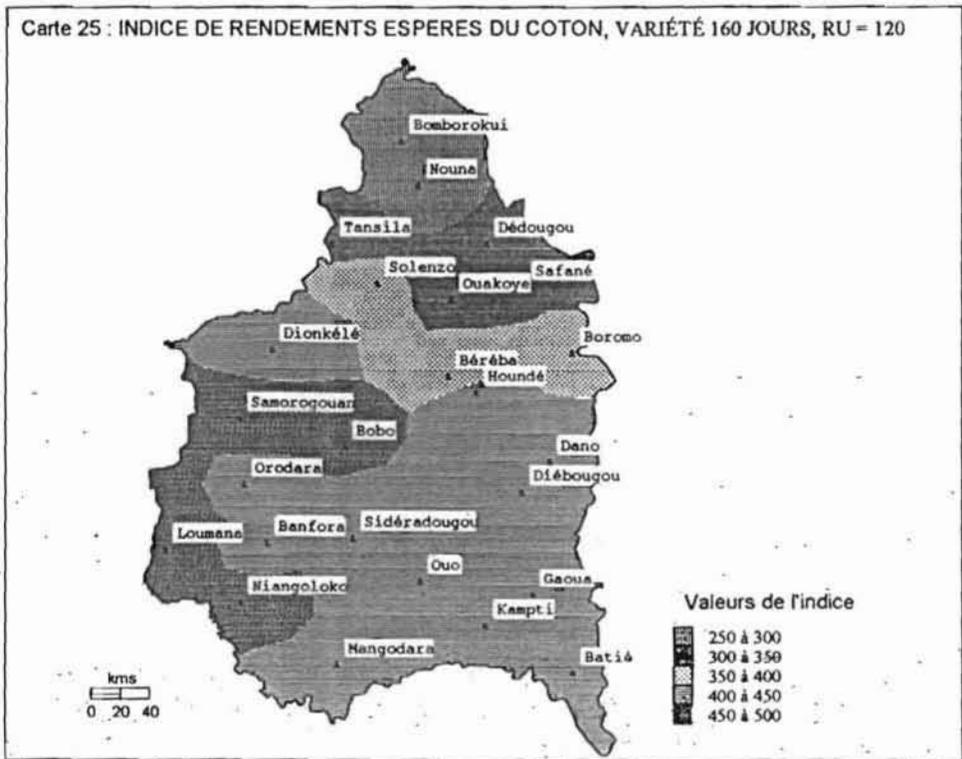
**Carte 23:** Indice de rendements espérés du coton de 135 jours, RU = 120 mm/m



**Carte 24:** Indice de rendements espérés du coton de 160 jours, RU = 90 mm/m.



**Carte 25:** Indice de rendements espérés du coton de 160 jours, RU = 120 mm/m.



### 7.3. IRESP DU MAÏS

La comparaison des trois variétés de maïs confirme le meilleur comportement des variétés à cycle long par rapport aux variétés à cycle réduit. En effet, les résultats montrent que les IRESP du maïs, obtenus dans toutes les stations, augmentent de pair avec la longueur du cycle (figures 31, 32 et 33 ; figures 34, 34 et 36). Cela pourrait se justifier par le fait que les variétés à cycle long ont génétiquement un potentiel de production supérieur à celui des variétés à cycle court.

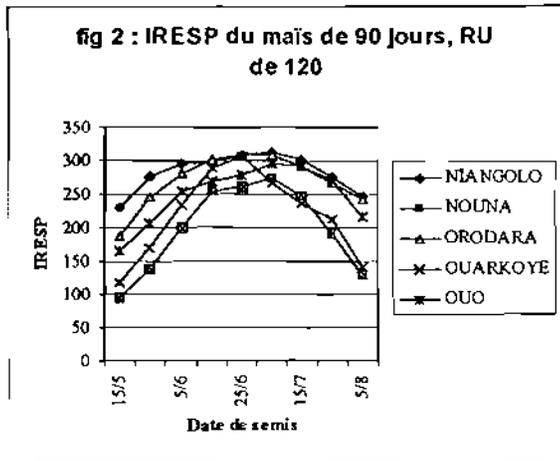
Cependant, les résultats de la simulation des semis ont montré que les variétés à cycle long, notamment celles de 130 jours, ne trouvent pas dans la partie nord de la zone d'étude, les conditions hydriques pour assurer leurs besoins en eau pendant les phases F11 et F12 de leur développement. Dans cette zone, il est déconseillé de produire des variétés à cycle long, sauf dans les parcelles exceptionnelles à sol profond ou dans les parcelles irriguées. Les variétés de 90 jours qui ont une meilleure alimentation hydrique dans cette partie de la zone d'étude y auront une plus large adaptabilité.

L'accroissement de l'IRESP en fonction de la longueur du cycle et les conditions hydriques satisfaisantes rencontrées par les variétés à cycle long dans la partie sud permettent de donner la priorité à la culture du maïs 130 jours puis à celui de 110 jours dans cette zone. En effet ces deux types de variétés semblent mieux optimiser l'eau disponible dans la zone par rapport aux variétés de 90 jours. Mais cela suppose que les semis sont effectués aux dates favorables. Cependant, lorsqu'on est contraint à des semis tardifs, les variétés de 90 jours qui ont une période de semis optimum plus étalée, et qui présentent alors des IRESP plus élevés, sont à préconiser.

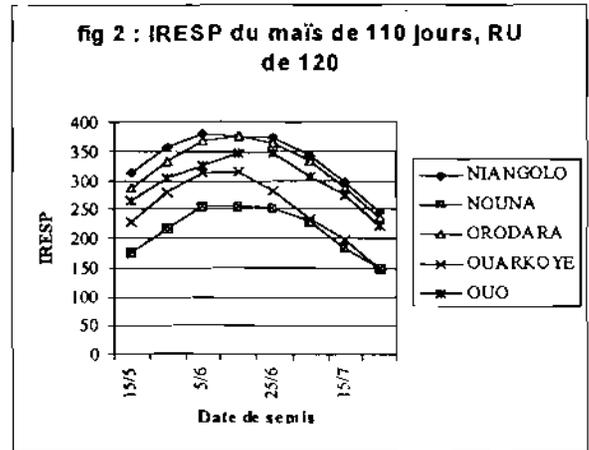
A l'instar des résultats du riz pluvial et du coton, les IRESP du maïs s'accroissent du nord au sud avec un gradient est-ouest. (cartes 27 à 31).

Avec les variétés de 90 jours, l'augmentation de la RU ne présente un intérêt que dans la partie sud-ouest avec un gain de 50. Dans le reste de la région, il n'y a pratiquement pas de différence de la RU de 90 mm/m à celle de 120 mm/m (cartes 26 et 27). L'intérêt d'un accroissement de la réserve utile en eau du sol se manifeste avec les variétés à cycle long (cartes 28 et 29 ; cartes 30 et 31).

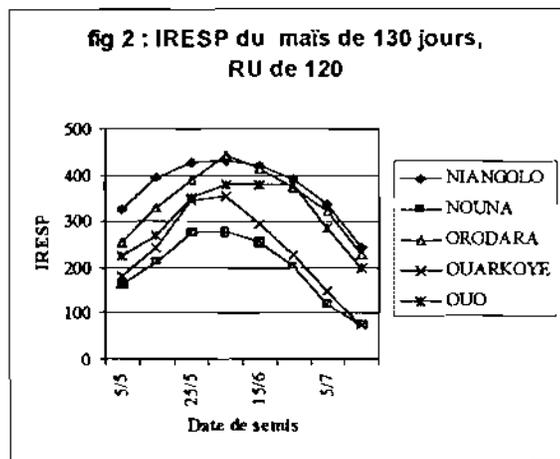
**Figure 31:** IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120 mm/m



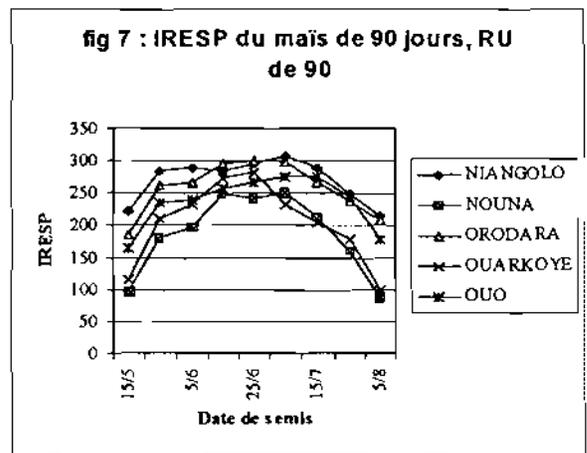
**Figure 32:** IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120 mm/m



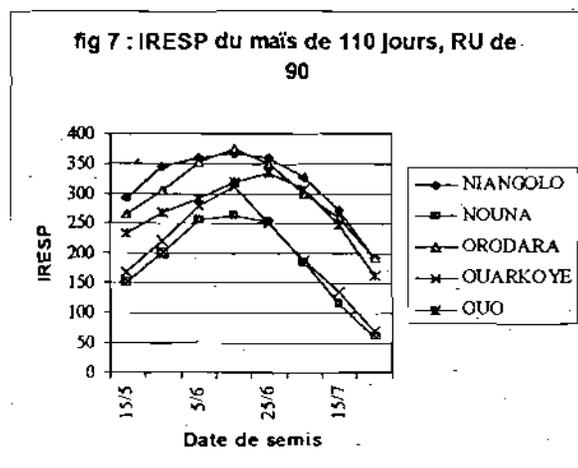
**Figure 33:** IRESP du maïs de 130 jours, RU de 120 mm/m



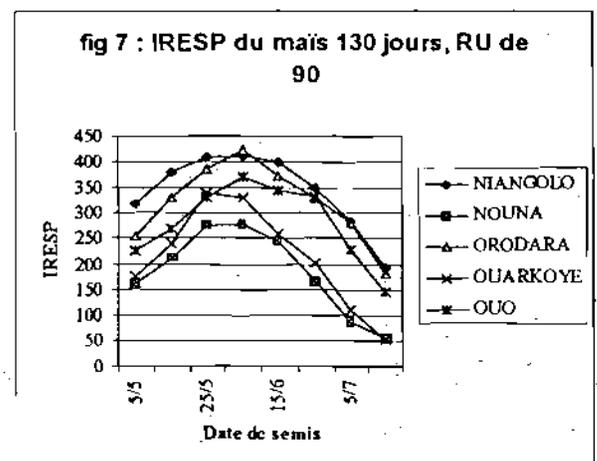
**Figure 34:** IRESP du maïs de 90 jours, RU de 90 mm/m



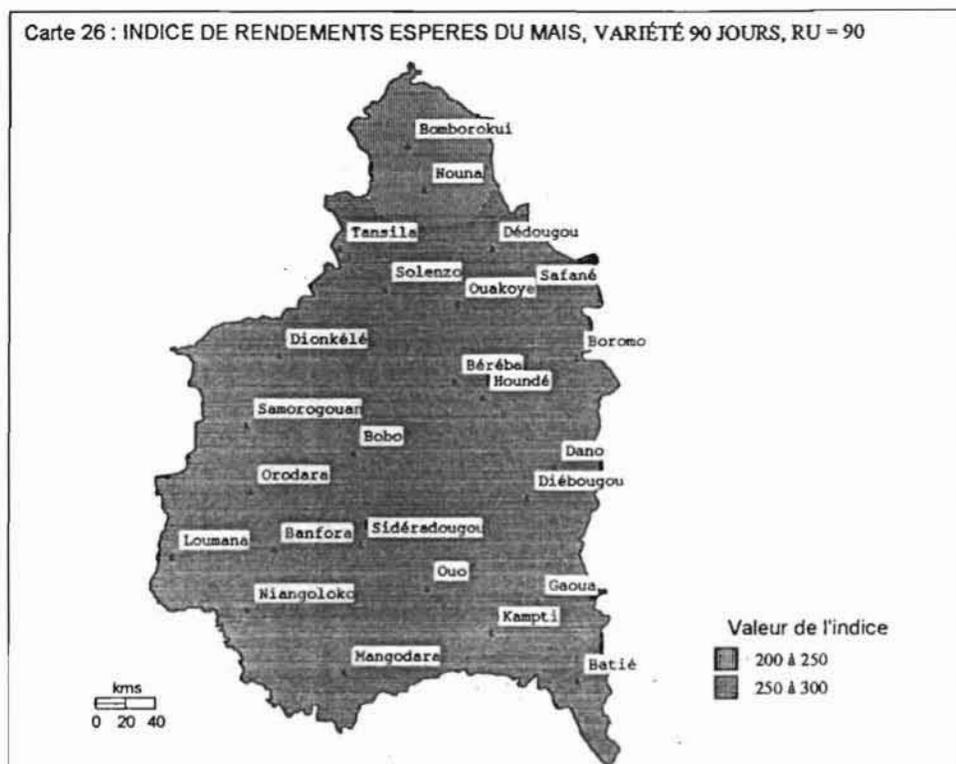
**Figure 35:** IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90 mm/m



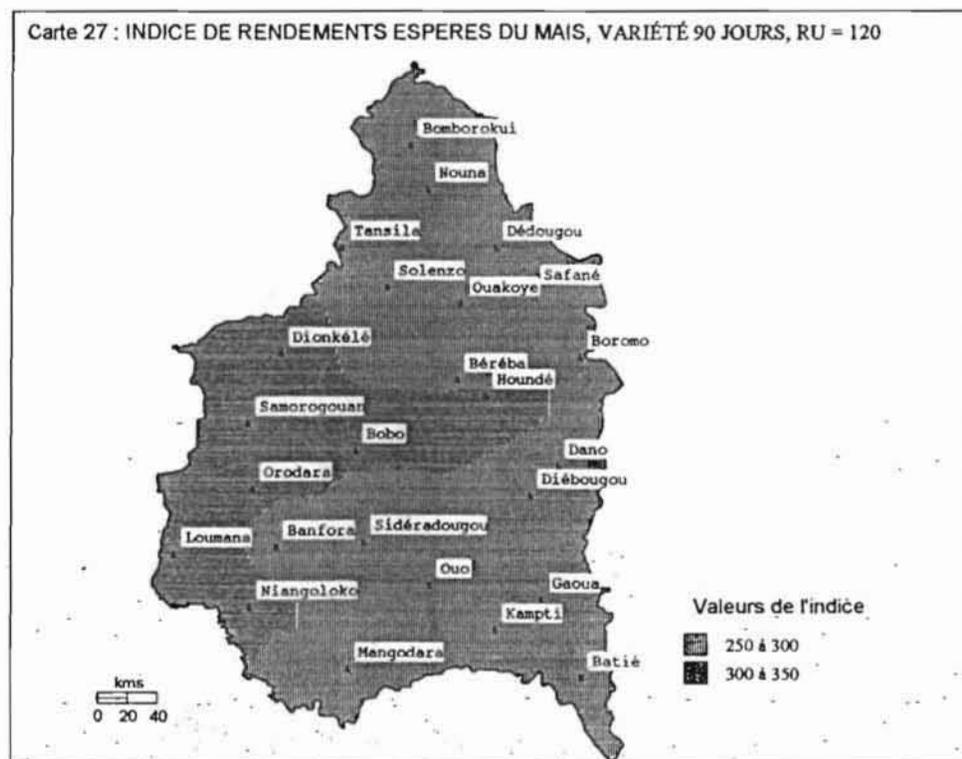
**Figure 36:** IRESP du maïs de 130 jours, RU de 90 mm/m



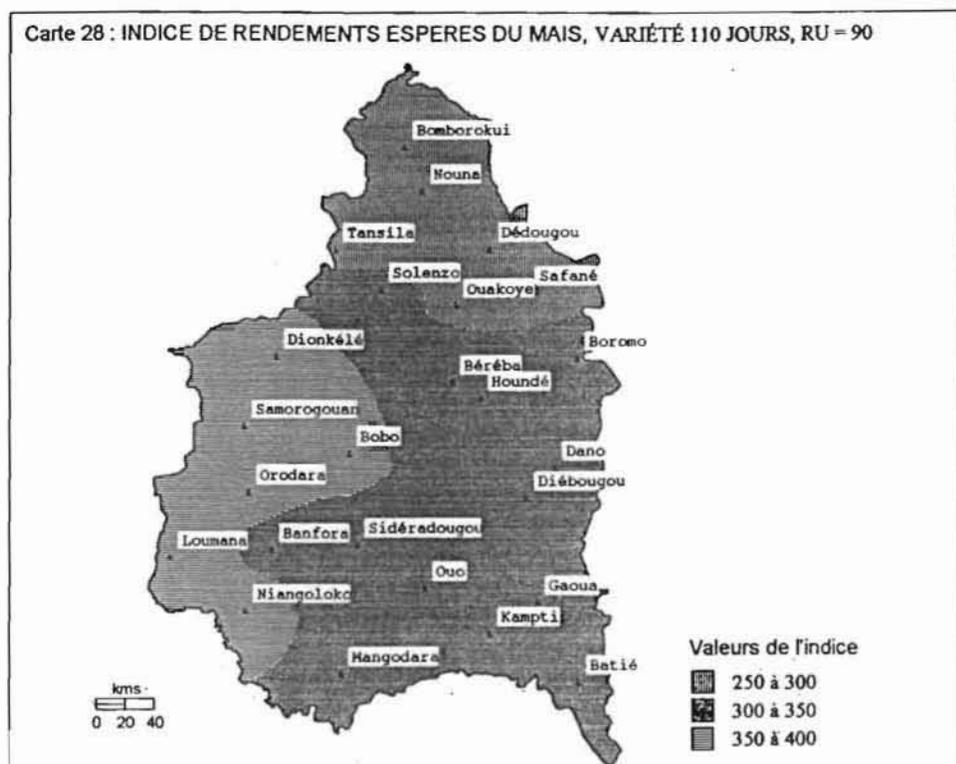
**Carte 26:** Indice de rendements espérés du maïs de 90 jours, RU = 90 mm/m.



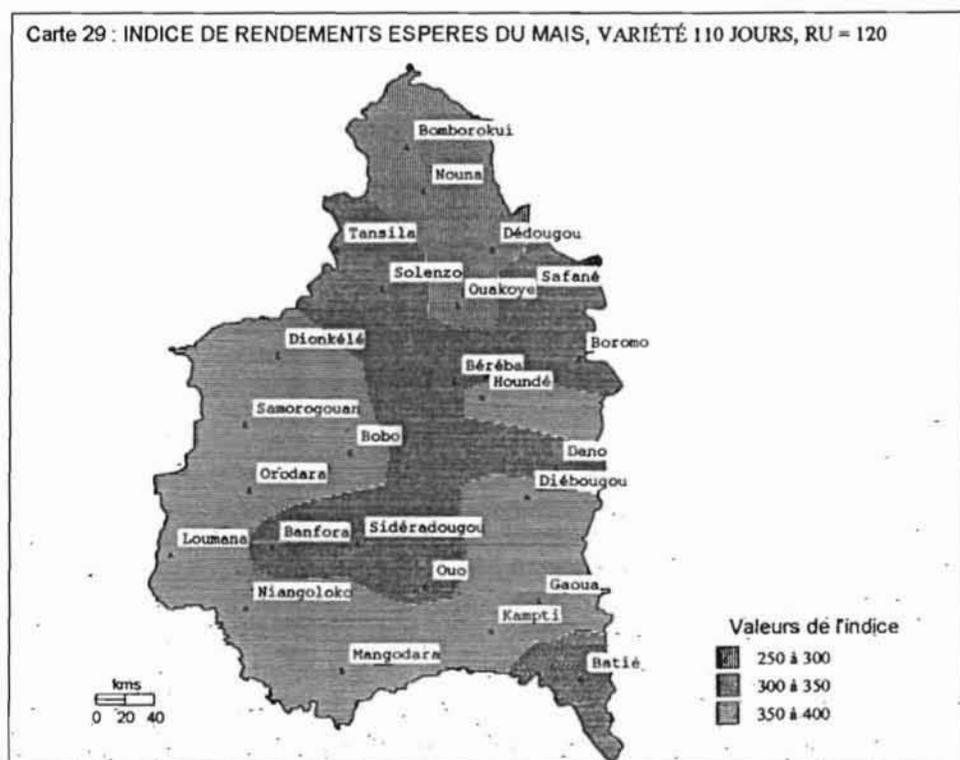
**Carte 27:** Indice de rendements espérés du maïs de 90 jours, RU = 120 mm/m.



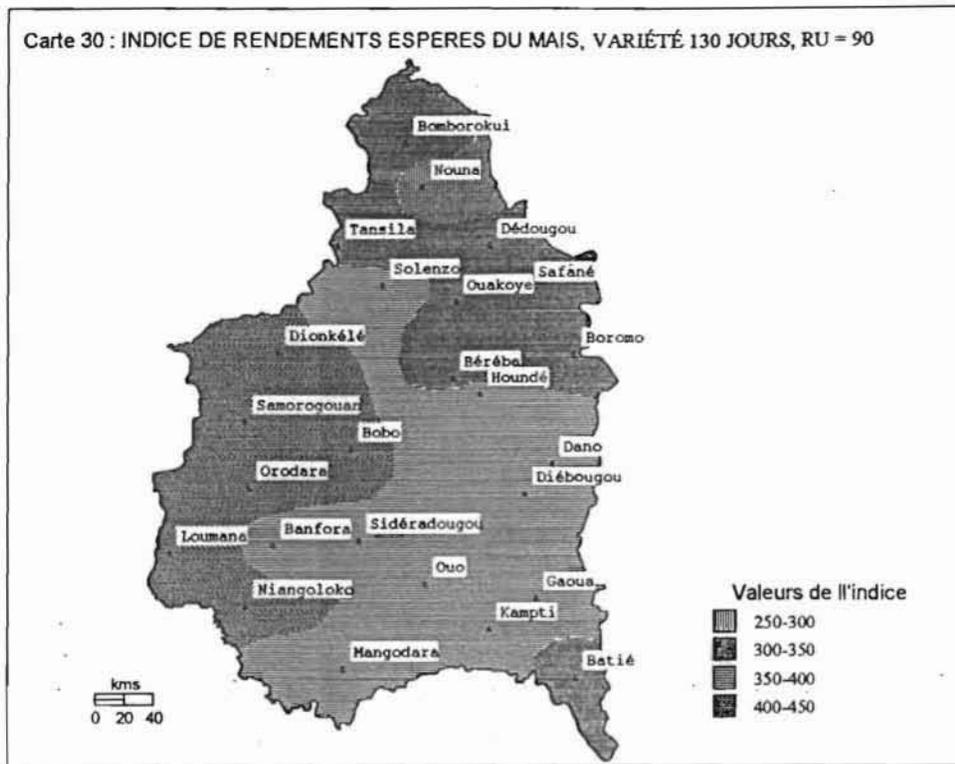
**Carte 28:** Indice de rendements espérés du maïs de 110 jours, RU = 90 mm/m.



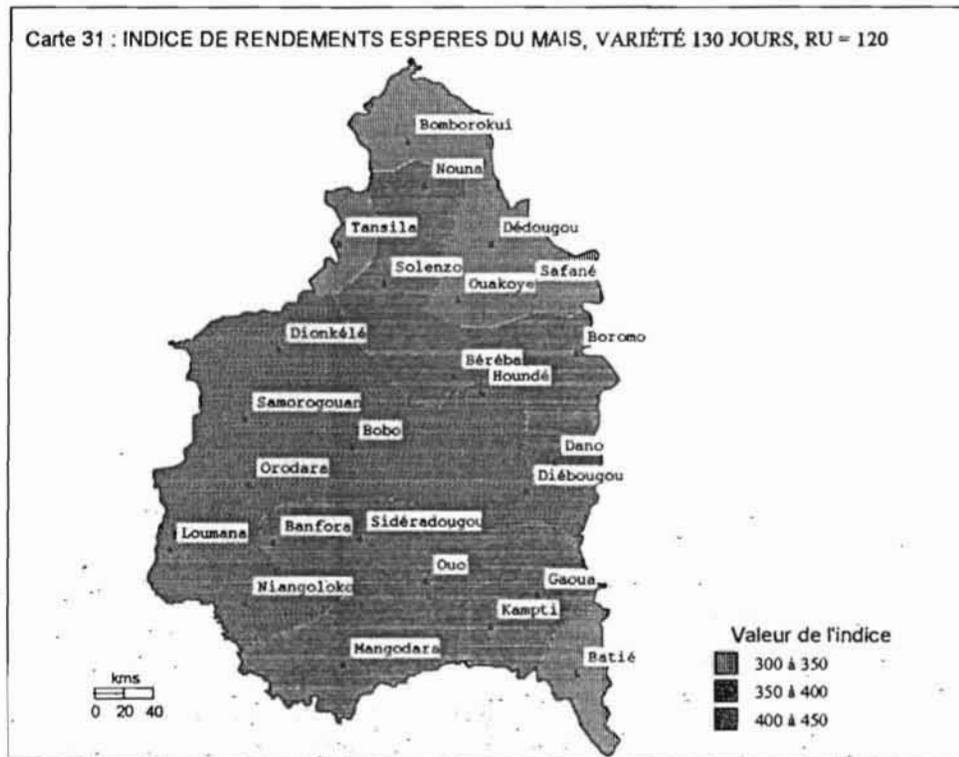
**Carte 29:** Indice de rendements espérés du maïs de 110 jours, RU = 120 mm/m.



**Carte 30:** Indice de rendements espérés du maïs de 130 jours, RU = 120 mm/m.



**Carte 31:** Indice de rendements espérés du maïs de 130 jours, RU = 120 mm/m.



## CONCLUSION GENERALE

L'utilisation d'un modèle de simulation du bilan hydrique des cultures a permis de définir, pour le riz pluvial (90 et 100 jours), le coton (135 et 160 jours) et le maïs (90, 110 et 130 jours), une stratégie de semis optimum qui pourrait accroître en termes statistiques les chances de réussite de la culture en minimisant les risques de stress hydrique au cours de la phase sensible. Ainsi, des périodes optimum de semis déterminées pour chaque culture et en fonction de la RU du sol sont :

Riz : 15 juin au 15 juillet

Coton : 1<sup>er</sup> mai au 5 juin

Maïs : 10 mai au 5 août

Le risque de déficit hydrique prédomine avec les variétés à cycle long dont les périodes optimum de semis sont relativement plus courtes. Pour ces variétés, les semis devront être réalisés plus précocement que les variétés à cycle court telles que le riz de 90 jours, le coton de 135 jours et le maïs de 110 et 90 jours.

Les rendements espérés des cultures n'ont pu être déterminés. Cependant, les indices de rendements espérés ont été déterminés et ont permis d'avoir une idée des potentialités de chaque variété.

A l'échelle régionale, l'analyse des potentialités agroclimatiques des cultures a permis de préciser les zones les plus propices à chaque variété étudiée. Dans la partie sud, les variétés à cycle long qui ont des indices de rendements espérés (IRESP) relativement plus élevés que les variétés à cycle court et qui y trouvent une meilleure alimentation, doivent y être préconisées en première option. Les variétés à cycle court pourront également y être exploitées, mais elles ne seront rentables qu'en cas de semis tardifs induits par une installation très tardive des pluies, qui diminuerait la productivité des variétés à cycle long. Néanmoins, dans la partie Nord, ces variétés constituent les meilleures spéculations tant que la source de l'alimentation hydrique restera strictement pluviale.

L'effet de la RU du sol est manifeste lorsque l'on compare les résultats des RU de 120, de 90 et de 60 mm/m. A défaut de sol à forte réserve utile, il apparaît nécessaire d'optimiser, dans les régions où le taux de satisfaction des besoins en eau est proche de 80 %, les techniques culturales qui favorisent une meilleure rétention en eau et un meilleur enracinement des cultures et donc une exploitation plus profonde du sol. On pourrait

envisager une irrigation de complément dans les zones où cela est possible. Les variétés à cycle long qui sont génétiquement plus productives pourront alors être utilisées.

Les semis des deux types de variétés de coton étudiées doivent se réaliser dans le mois de mai. Généralement, dans cette période, les pluies ne sont pas encore installées, ce qui rend difficile les travaux de préparation du sol. Il faudrait alors optimiser le travail du sol à sec, lorsque les moyens le permettent, pour pouvoir semer à la bonne période dès que les pluies tomberont. Par ailleurs, le labour de fin de cycle et les semis à sec qui constituent des pratiques déjà courantes dans certaines exploitations doivent également être intensifiés. Cela permettra d'être dans les délais pour des semis optimum.

Les résultats obtenus indiquent une grande plage de périodes optimum de semis (près de 75 jours) pour le maïs de 90 jours dans la zone sud et sud-ouest. Cette opportunité pourrait être exploitée pour réaliser au moins deux récoltes par an sur une même parcelle. L'irrigation de complément pourrait permettre de combler le déficit hydrique éventuel.

Il conviendrait cependant de souligner que la mobilisation d'un système d'irrigation pour combler les besoins en eau de la culture a un coût. La recherche de plusieurs récoltes dans l'année exige des précautions d'ordre technique (variétés, méthode de semis...), agronomiques (gestion des sols, fertilité...) et sanitaire (pression parasitaire...). Il faudrait donc étudier la faisabilité d'un système d'irrigation de complément dans nos méthodes actuelles de culture et les stratégies qui permettraient de minimiser les contraintes attenantes à une double exploitation des champs.

Les résultats ont montré également qu'il y a un chevauchement d'une part, entre les dates optimum de semis du riz et du maïs et, d'autre part, entre celles du coton et du maïs. La faible mécanisation de l'agriculture de la région ne permet pas au producteur de réaliser toutes les opérations culturales pour chaque culture. Lorsque les pluies s'installent tardivement et que la saison culturale se raccourcit, il doit, pour les semis, effectuer un choix entre les cultures concurrentes, en fonction de la rentabilité de la spéculation. La détermination des rendements espérés permettrait de rationaliser ce choix et éviterait ainsi des investissements non rentables.

Cette étude qui montre la pertinence d'un choix judicieux de la date de semis, ne permettrait pas à elle seule d'optimiser le potentiel de production des variétés actuellement vulgarisées dans la zone. Son exploitation nécessiterait une approche pluridisciplinaire qui prendrait en compte tous les aspects de l'activité agricole (conduite de la culture, travail du sol, place de la culture dans la toposéquence, rentabilité des investissements éventuels, etc.).

Ce qui permettra aux acteurs du milieu agricole de réaliser des choix judicieux dans leur système de culture.

Vu les contraintes que nous avons rencontrées dans la détermination des rendements espérés nous pensons qu'il est nécessaire pour une étude future du même ordre d'effectuer des tests de longue durée en milieu paysan, à l'aide d'un système de collecte fiable des données climatiques (pluviométrie) et agronomiques (rendement, dates de semis et de récolte...) pour chaque parcelle. Cela permettra de déterminer les fonctions de production de chaque culture et de prévoir leurs rendements en tenant compte du contexte de leur réalisation.

En dépit des difficultés méthodologiques liées à la rareté et à la fiabilité de certaines données climatiques et agronomiques (sur une longue période), la généralisation de cette étude à d'autres cultures et à l'ensemble du pays devrait être envisagée. Elle permettra d'avoir des indications assez rationnelles dans le choix de la stratégie culturale, de réduire les effets de la péjoration climatique sur la production agricole et d'accroître la productivité des cultures.

références

bibliographiques

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFFHOLDER B., 1991.** Influence de la fertilisation et du contrôle de l'enherbement sur la réponse des rendements du mil pluvial à un indice hydrique synthétique. In : Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Actes séminaire international, Bamako (Mali), 9-13 décembre 1991, pp 191-202.
- ANGLADETTE, 1966.** Le riz. Techniques Agricoles et Production Tropicales. G. P. Maisonneuve et Larose Paris (France), 879 p.
- ANNEROSE D. et CORNAIRE B., 1991.** Approche physiologique de la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches. In : Bilan Hydrique Agricole et Sécheresse en Afrique Tropicale. Actes séminaire international, Bamako (Mali) 9-13 décembre 1991, pp 137-150.
- BACCI L. et REYNIERS F. N., 1998.** Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride. Actes du séminaire final du projet STD3TS393.0223 «Risques et intensification : le diagnostic hydrique et minéral des céréales dans les pays sahéliens et les zones communautaires du Zimbabwe», 27-30 avril 1998, Florence, (Italie), pp 79-93.
- BALDY C., 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 de Docteur es-sciences. Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme ; Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille (France), 217 p
- BARON C., PEREZ P. et MARAUX F. ; 1997.** SARRA (système d'Analyse Régionale des risques agroclimatiques), guide d'utilisation. Document interne CIRAD-CA, Montpellier (France), 74 p.
- BROUWER C. et HEIBLOEM M., 1987.** Les besoins en eau d'irrigation. Gestion des eaux d'irrigation. Manuel de formation n° 3, FAO, Rome (Italie), 60 p.
- CASENAVE A. et VALENTIN C., 1989.** Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. Ed CEE / ORSTOM, Paris (France), 202 p
- CASTELLANET C., 1992.** L'irrigation villageoise. Gérer les petits périmètres irrigués au Sahel. *Collection Le Point sur les technologies*, Paris (France), 368 p
- CEMAGREF, 1990.** Irrigation. Guide pratique ; Montpellier (France) 306 p.
- 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 (France), 160 p + annexes.
- COMBASSERE C., 1989.** Etude de quelques paramètres en liaison avec la résistance à la sécheresse chez le riz pluvial. Mémoire de fin d'études, D.E.A. en Biotechnologie et Amélioration des productions végétales, Option : Génétique et Amélioration des plantes. Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Côte d'Ivoire, 53 p + annexes.
- D'At de SAINT FOULC J., 1967.** Irrigation par aspersion. *Edition Eyrolles*, 231 p

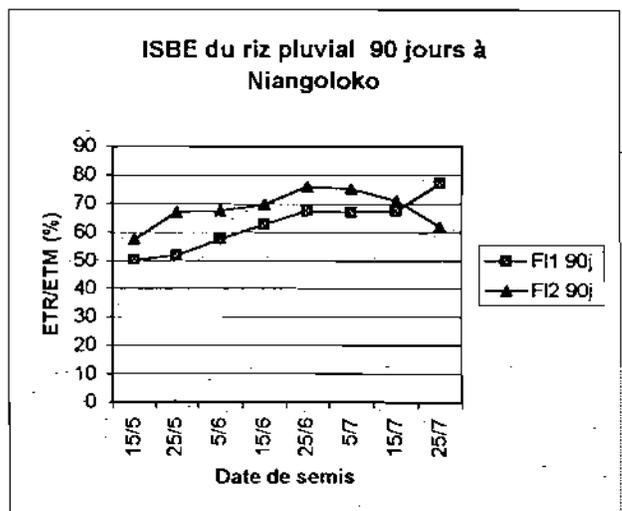
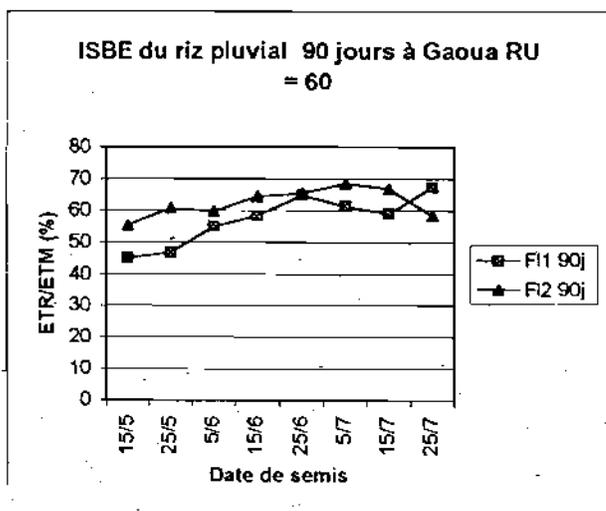
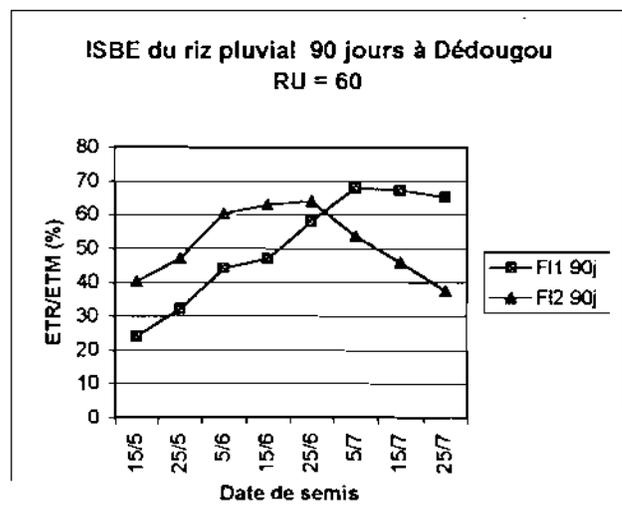
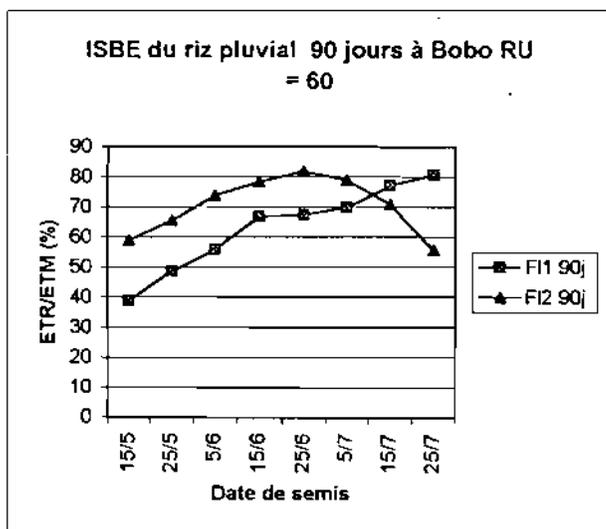
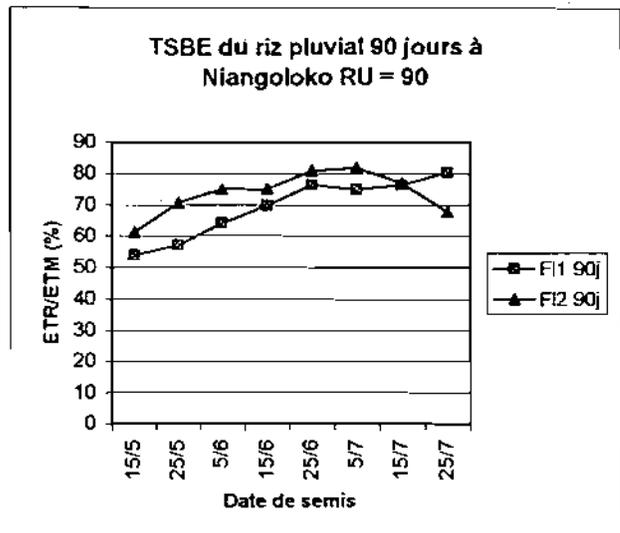
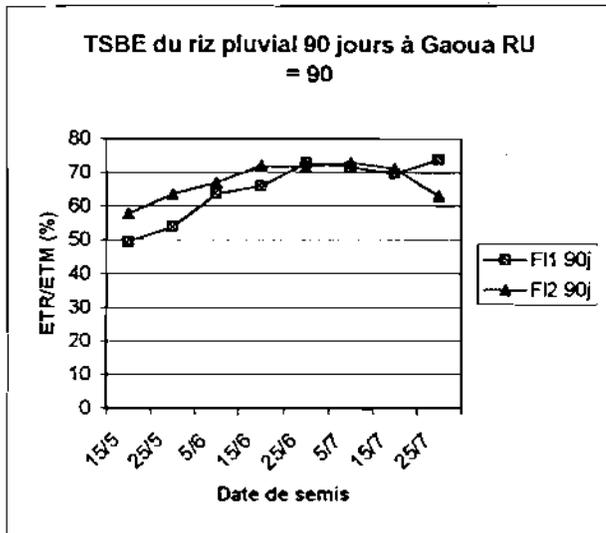
- DABIRE F., 2000.** Sélection inter et intra variétale pour la résistance à la sécheresse en cours de cultures chez le maïs (*Zea mays*). Mémoire de fin d'étude. Ingénieur du Développement Rural ; option agronomie. IDR. - U.P.B./Bobo (Burkina Faso), 79 p + annexes.
- DAKOUO D., 1994.** Les carences en potassium sur le cotonnier (*Gossypium hirsutum l*) dans les systèmes de cultures : cas de la zone cotonnière du Burkina Faso. Thèse de Docteur – Ingénieur, sciences agronomiques (nutrition des plantes). Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Côte d'Ivoire, 140 p
- DANCETTE C, 1991.** Critique des recherches sur le bilan hydrique en zone soudano-sahélienne. In **SIVAKUMAR M. V. K., WALLACE J. S. RENARD C. et GIROUX C., 1991** Soil Water Balance in Soudano-sahelian zone. IAHS publication n°199 ; ICRISAT Sahelian center, Niamey (Niger), pp 45 - 62.
- DARPOUX R. et DEBELLEY M., 1967.** Les plantes sarclées - *Collection d'Enseignement Agricole*, 312 p
- DE RAISSAC M, 1992.** Mécanisme d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. *L'Agronomie Tropicale*, n°46 vol. 1, pp 29-38.
- DEMBELE Y. et SOME L., 1991.** Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sols du Burkina Faso. In **SIVAKUMAR M. V. K., WALLACE J. S. RENARD C. et GIROUX C., 1991** Soil Water Balance in Soudano-sahelian zone. IAHS publication n°199 ; ICRISAT Sahelian center, Niamey (Niger), 217 - 229
- DEMBELE Y., 1995.** Modélisation de la gestion hydraulique d'une retenue d'irrigation : application au périmètre rizicole de Mogtédou (Burkina Faso). Thèse de doctorat, mention Génie rural et des procédés, ENSAR de Rennes (France), 156 p
- DEMBELE Y., GULLOBEZ S, NICOU R, OUATTARA B. et SANOU M., 1992.** Gestion des eaux en agriculture pluviale. ESFIMA-INERA Ouagadougou (Burkina Faso), 28 p
- DIOP M., OUATTARA F. et SOME L., 1999.** Etude de la vulnérabilité/Adaptation aux changements climatiques, secteur de l'agriculture. Rapport provisoire, conseil national pour la gestion de l'environnement, Ouagadougou (Burkina Faso), 50 p
- DOORENBOS J. et KASSAM A. H., 1987.** Réponse des rendements à l'eau. *Bulletin FAO d'Irrigation et de Drainage* n° 33, FAO (Italie), 235 p
- DOORENBOS J. et PRUITT W. O., 1986.** Les besoins en eau des cultures. *Bulletin FAO d'Irrigation et de Drainage* n° 24, FAO (Italie), 197 p
- DUCROCQ M., 1990.** Les bases de l'irrigation. *collection Techniques agricoles Méditerranéennes*, 117 p
- FAO, 1997.** Zonage agro-écologique. Directive. Bulletin pédologique de la FAO, 73. Rome (Italie), 82 p
- GIRARD X., 1994.** Logiciel de diagnostic hydrique des cultures. Manuel d'utilisation. Programme AGRHYMET- Niamey (Niger), 38 p
- GUINKO S., 1989.** Contribution à l'étude de la végétation et de la flore du Burkina Faso (ex. Haute Volta) I. Les territoires phytogéographiques, *IFAN*. Dakar (Sénégal), pp 130-139.

- INERA, 1994.** Les systèmes de productions agricoles dans la zone Ouest du Burkina Faso : Potentialités, contraintes, bilan et perspectives de la recherche. CRREA/Ouest, INERA/Programme coton/station Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 96 p
- INERA, 2000.** Appui de la filière coton à la recherche cotonnière. Synthèse. CRREA / Ouest, INERA/Programme coton/station Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 16 p
- LENRDES P., 1992.** Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, C.N.E.A.R.C./Montpellier, (France), 80 p + annexes.
- MAYER J. et BONNEFOND R., 1973.** Les rizicultures paysannes. Améliorations possibles. Ministère des Affaires étrangères (France), 216 p
- Ministère français de la coopération, 1979.** Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. *Collection Techniques Rurales en Afrique*, 204 p
- Ministère français de la coopération, 1991.** Mémento de l'Agronome ; 4<sup>ème</sup> édition. *Collection Techniques Rurales en Afrique*, 1635 p
- MOULE C., 1980.** Céréales –*Maison Rustique*, 317 p
- MUGHISAWIMANA J., 2000.** Impact de la pluviométrie des dix dernières années sur la mise ne place des cultures mécanisées en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso : Cas du coton et du maïs. Mémoire de fin d'études, Ingénieur du développement rural, option agronomie, IDR.-U.P.B. Bobo (Burkina Faso), 85 p + annexes.
- NICOU R. et OUATTARA B SOME L., 1987.** Effet des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. INERA, Ouagadougou. (Burkina Faso), 77 p
- POSS R. et SARAGONIE H. et IMBERNON J., 1988.** Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *Bulletin Agriculture Tropicale*, vol 43 / n° 01, 18 - 29.
- INERA, 1986.** Fiches techniques sur la culture du cotonnier au Burkina Faso. INERA/Programme coton/station Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 26 p
- INERA, 2000.** Appui de la filière coton à la recherche cotonnière. Synthèse. INERA, CRREA /Ouest, INERA/Programme coton, station de Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 37p
- RAMANI F. et THIAMOBIGA J., 1990.** Consommation des sous produits du coton au Burkina Faso. INER/Programme coton/station de Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 86 p
- REBOUR D. et DELOYE M., 1971.** Irrigation de surface et par aspersion. *Maison Rustique*, Paris (France), 227 p
- REYNIERS F. et FOREST F., 1990.** La pluie n'est pas le seul remède à la sécheresse en Afrique. Synthèse, IRAT/CIRAD/Montpellier (France) ; *Bulletin Sécheresse* n° 01, pp 36-40.
- SAMBA A., 1998.** Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures. Prévion des rendements de mil en zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. *Sécheresse* n° 4, vol 9, Programme AGRHYMET- Niamé (Niger), pp 281-288.
- SANOU J., 1991.** Sélection du maïs (*Zea mays L.*) pour la résistance à la sécheresse. Synthèse bibliographique. ENSA de Montpellier (France), 17 p
- SERE Y., 1996.** Activités et résultats du projet PNUD/FAO-INERA, CRREA/Ouest, INERA/Programme coton/station Farako-bâ/Bobo (Burkina Faso), 24 p

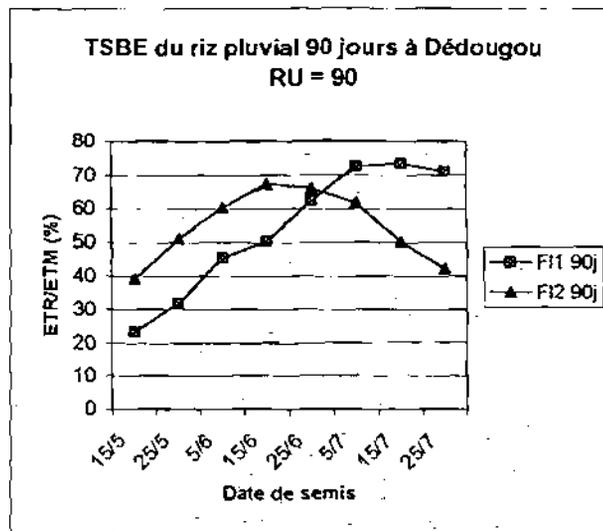
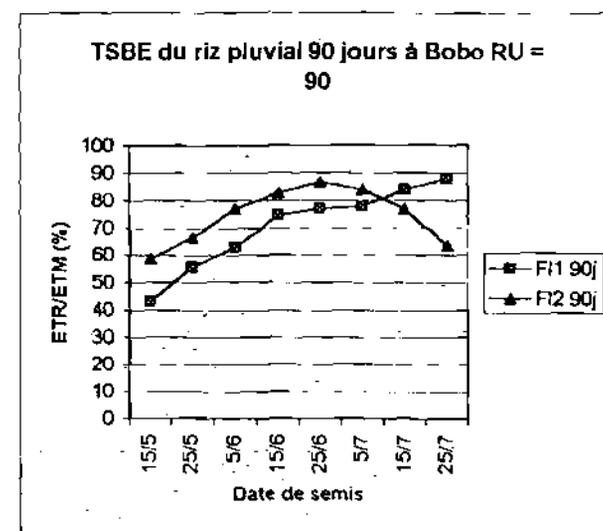
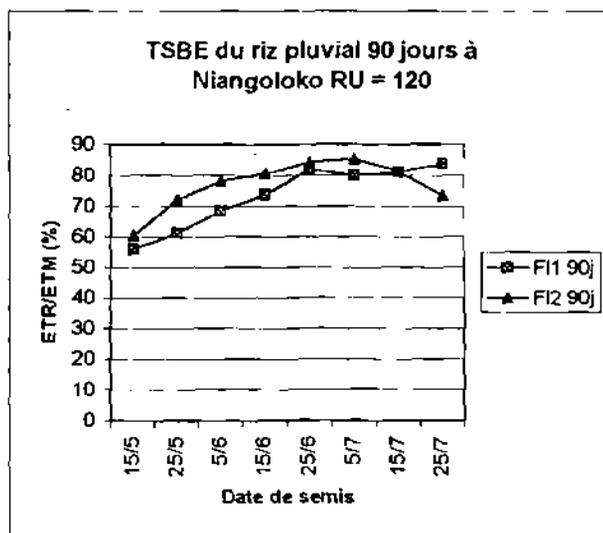
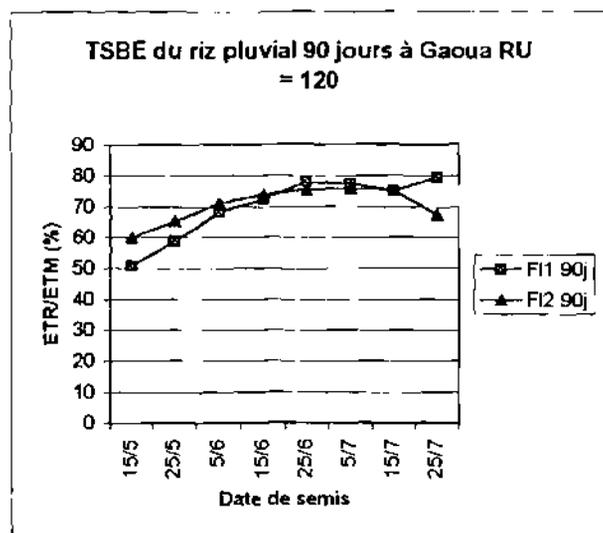
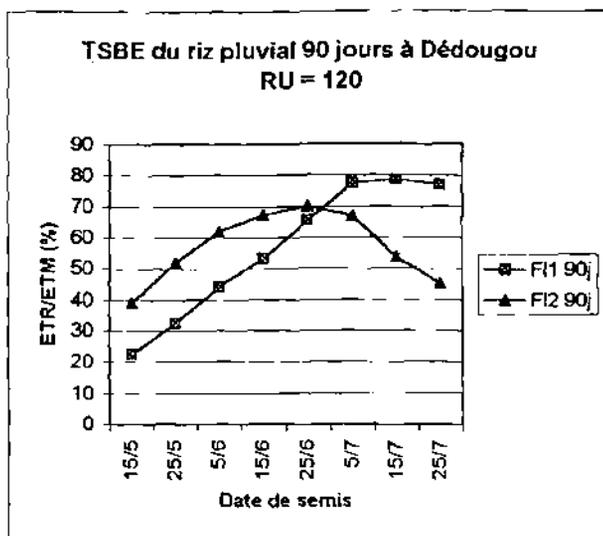
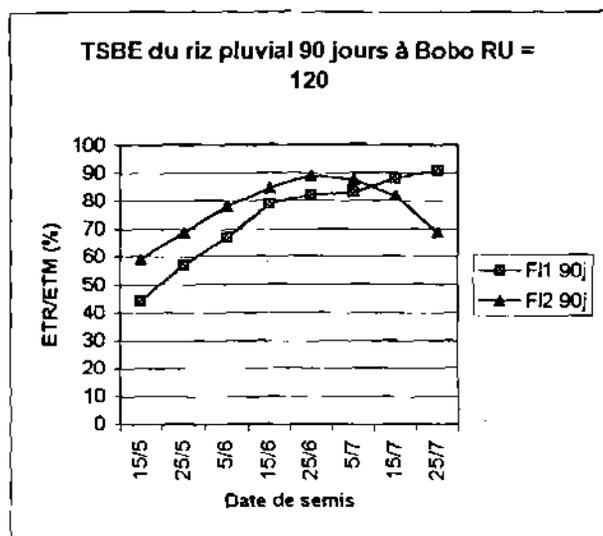
- SMITH M., 1992.** CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management, Irrigation and Drainage paper, n° 46, FAO, Rome (Italie), 126 p
- SOLTNER D., 1987.** Les bases de la production végétale. Tome II : le Climat. *Collection Sciences et Techniques Agricoles «Le Clos Lorelle»*, Sainte Gemmes Sur Loire (France), 313 p
- SOLTNER D., 1990.** Les grandes bases de la production végétale. . *Collection Sciences et Techniques Agricoles «Le Clos Lorelle»*, Sainte Gemmes Sur Loire (France), 464p
- SOLTNER D., 1992.** Les bases de la production végétale : phytotechnie générale. Tome II : le sol et son amélioration. . *Collection Sciences et Techniques Agricoles «Le Clos Lorelle»*, Sainte Gemmes Sur Loire (France), 464 p
- SOME L. et SIVAKUMAR M. V. K., 1994.** Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Burkina Faso. INERA-ICRISAT, 43 p.
- SOME L., 1989.** Diagnostic agro-pédoclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques. Amélioration de la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse de doctorat, spécialité : physiologie, biologie des organismes et des populations. Université de Montpellier II (France). Sciences et Techniques du Languedoc, 312 p
- SOME L., TAOUNDA J. B. et GUILLOBEZ S., 1992.** Le milieu physique du Burkina Faso et ses contraintes. Programme ESFIMA.-INERA-Ouagadougou (Burkina Faso), 14p
- THEVENET G. et COUVREUR F., 1978.** Blé et maïs. Réponse à un déficit en eau. Bulletin Perspectives Agricoles n°16, 37-50
- VLAAR J., 1993.** Techniques de conservation des eaux et des sols au Sahel. *Bulletin du C.I.E.H. n° 94*, pp 23-48.
- ZOMBOUDRE G., 1991.** Contribution à l'étude de l'alimentation hydrique du riz pluvial dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, Ingénieur du développement rural, option agronomie, IDR./Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 89 p+ annexes.

# Annexes

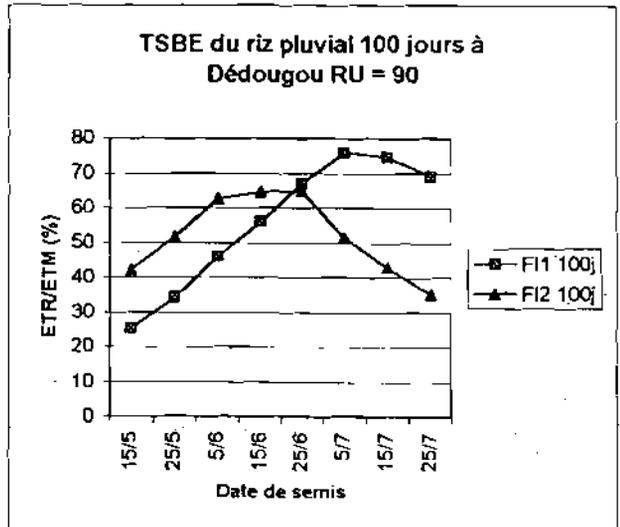
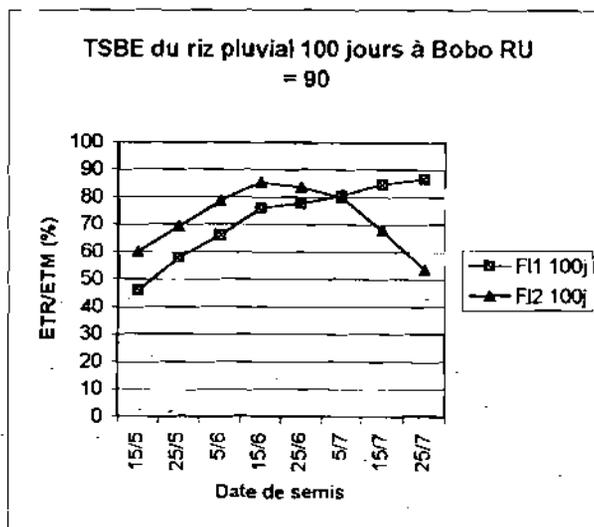
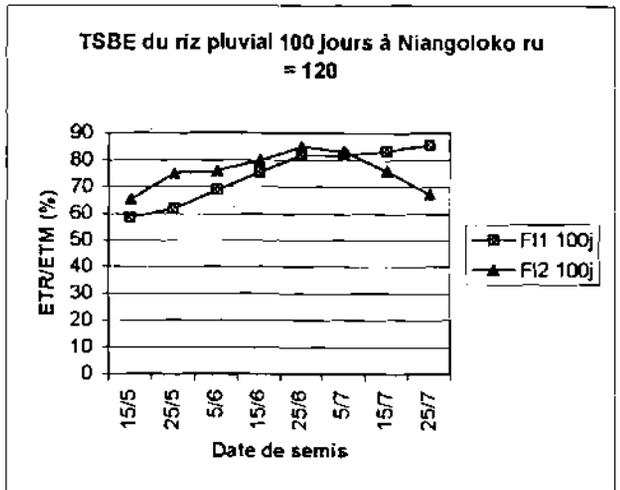
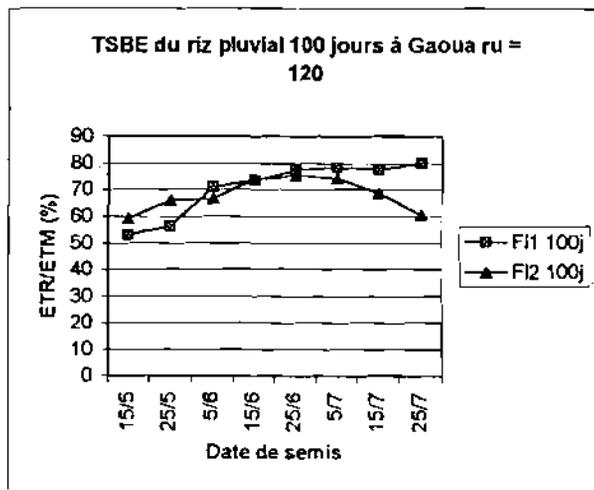
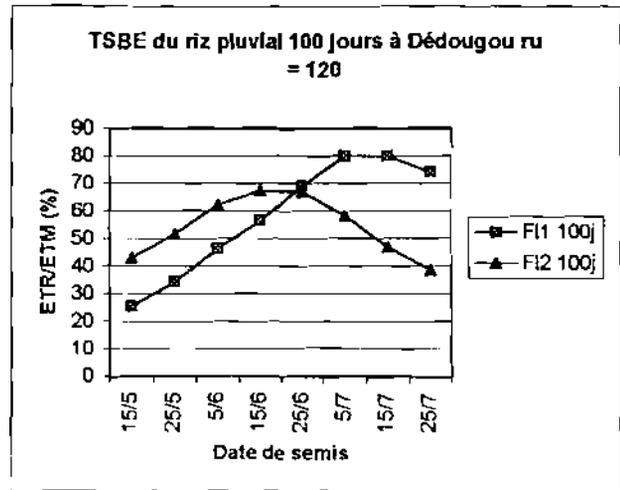
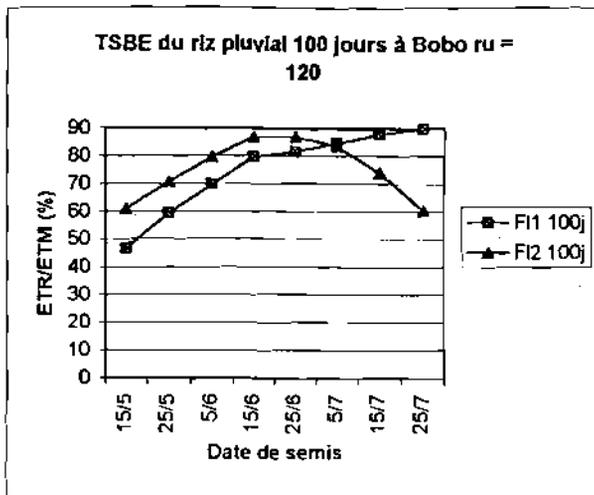
Annexe 1b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial en fonction de la date de semis



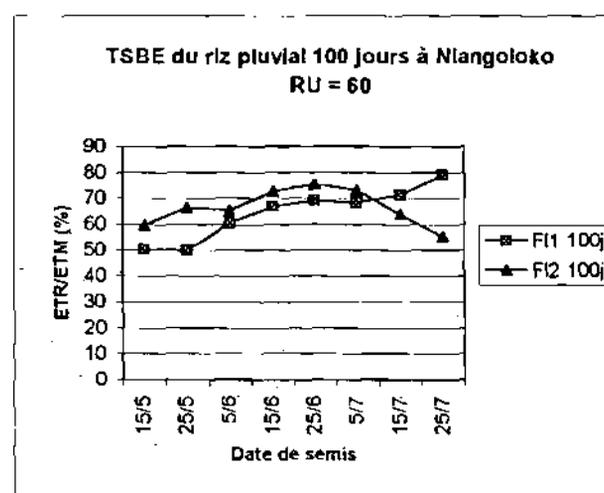
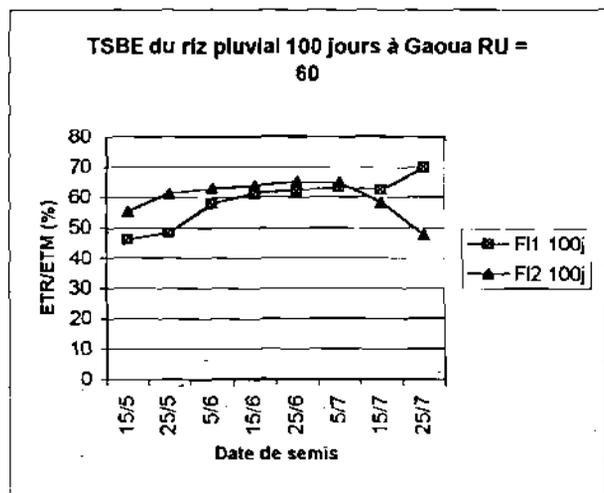
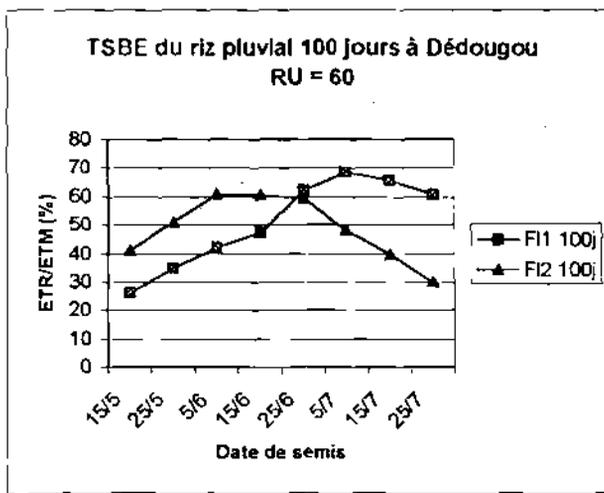
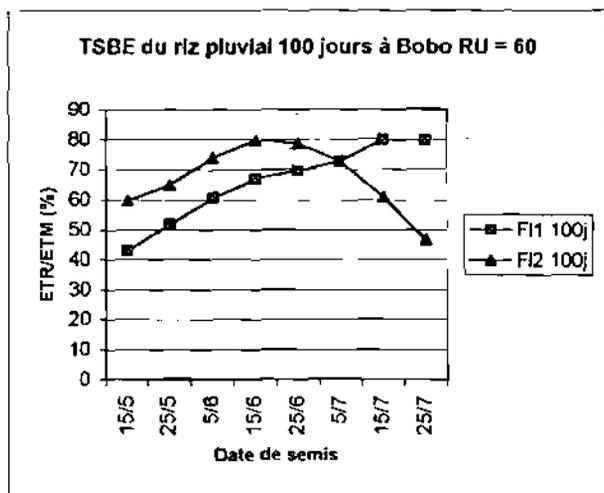
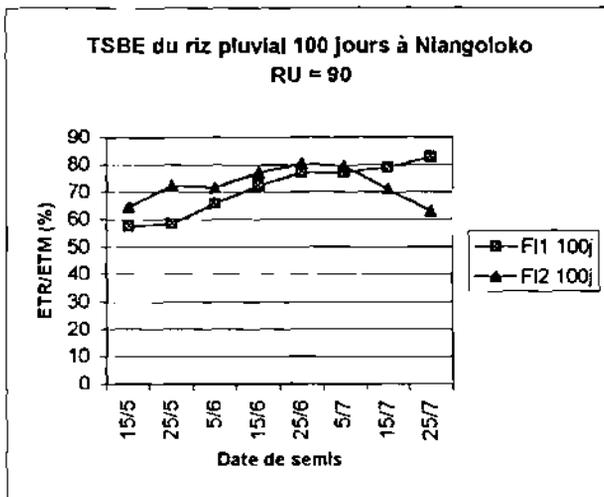
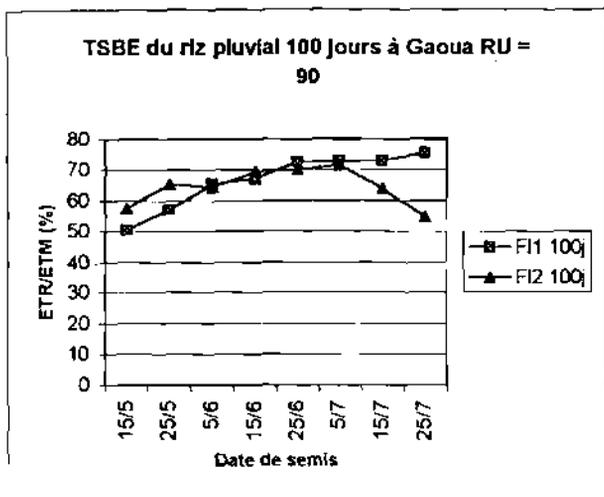
Annexe 1a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial en fonction de la date de semis



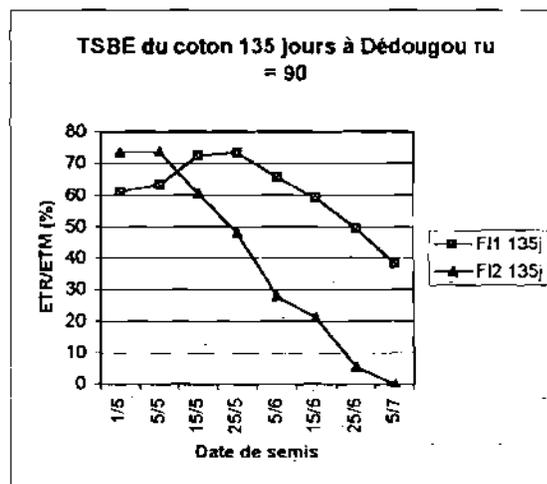
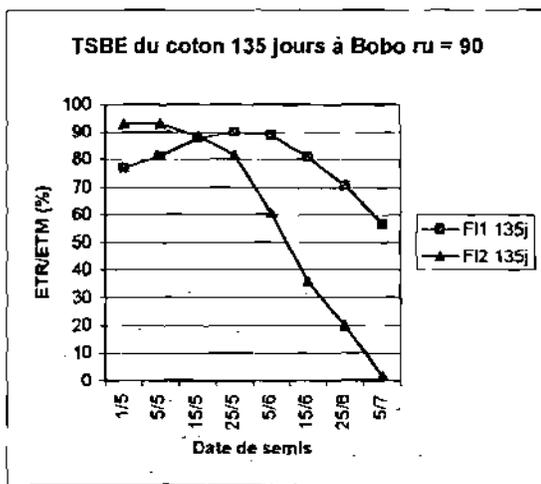
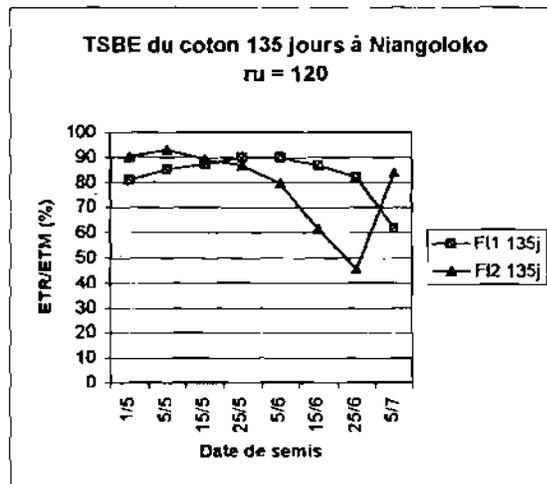
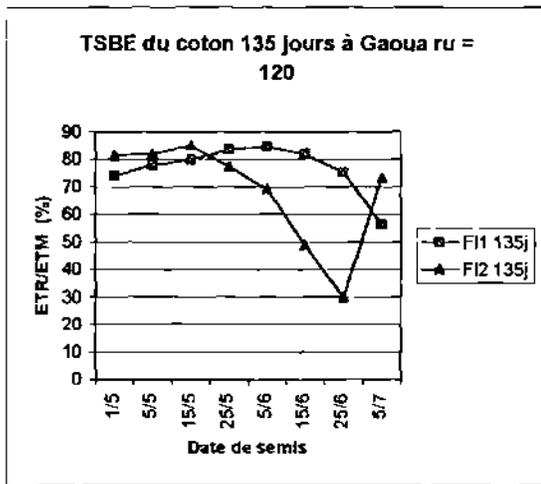
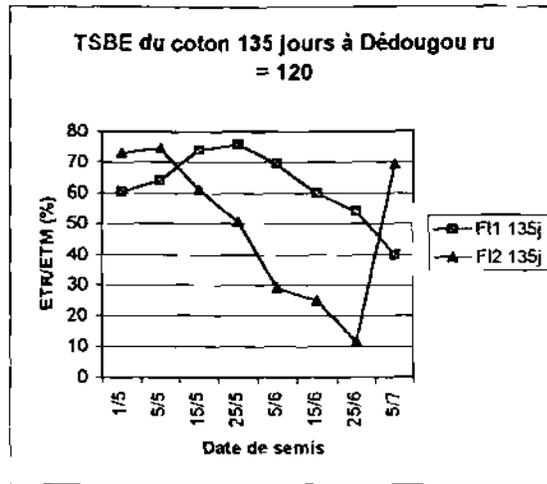
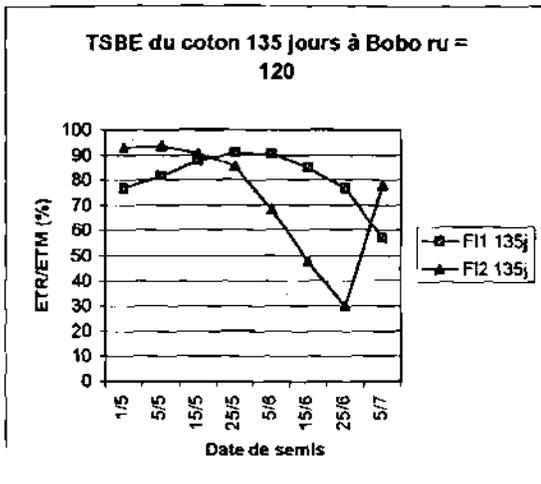
Annexe 2a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial en fonction de la date de semis



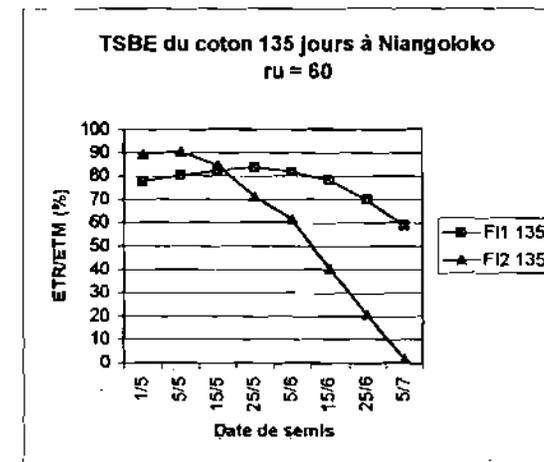
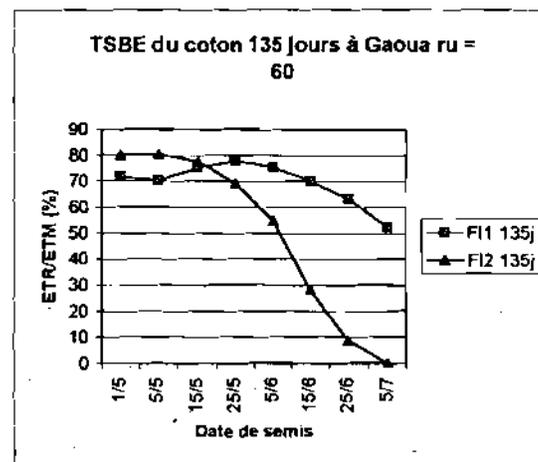
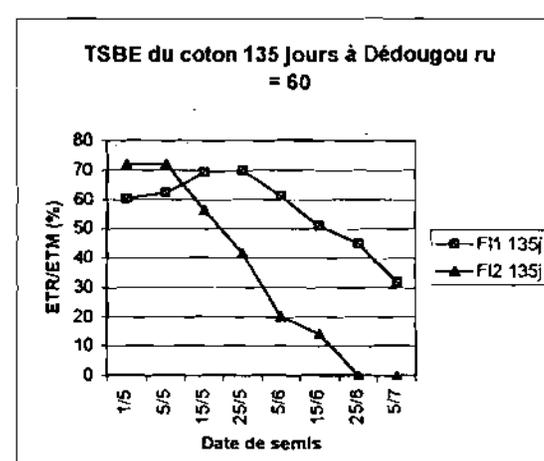
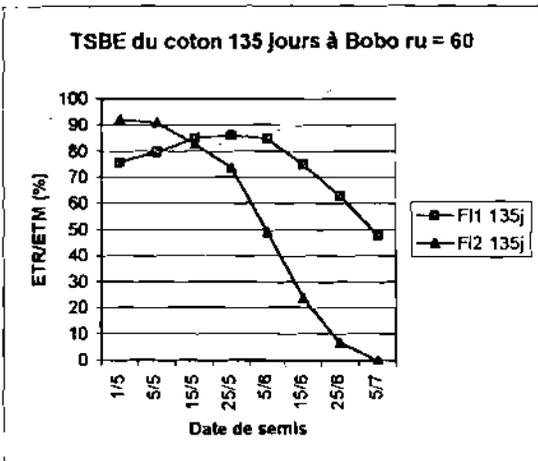
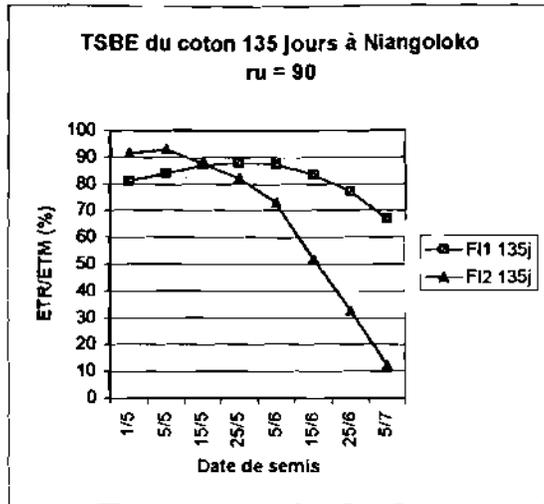
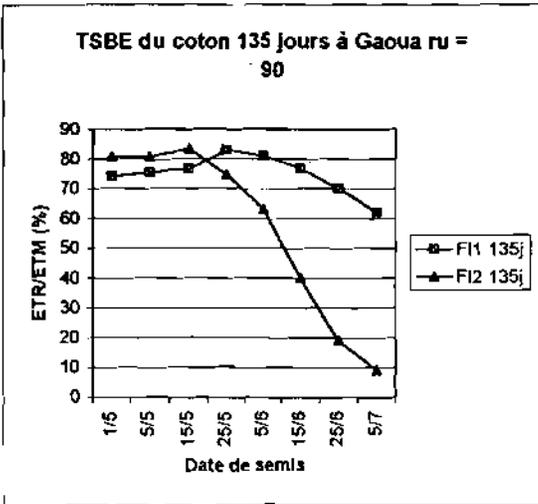
Annexe 2b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial en fonction de la date de semis



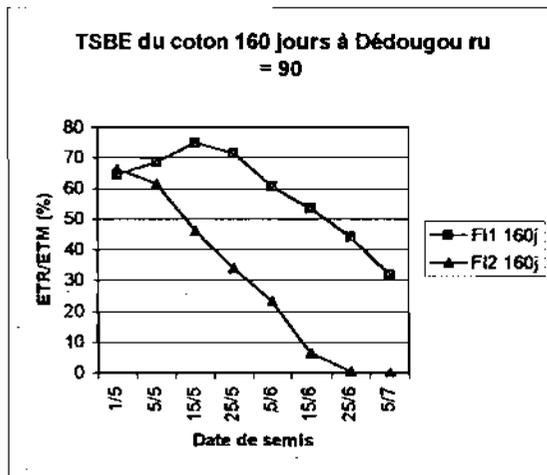
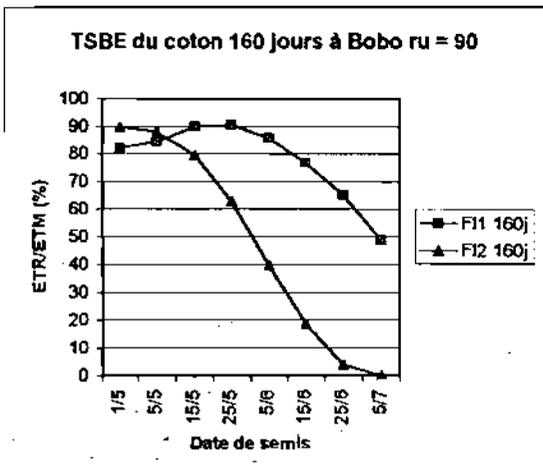
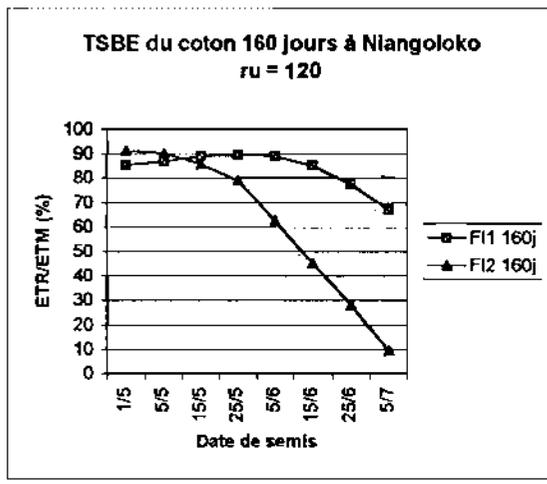
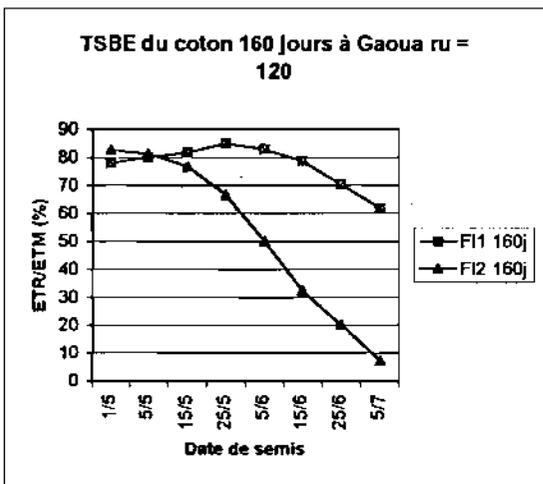
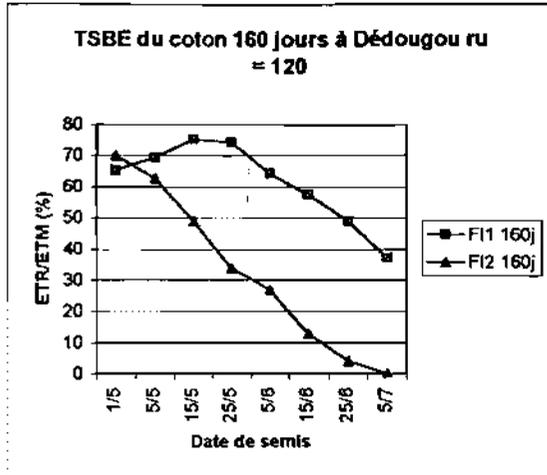
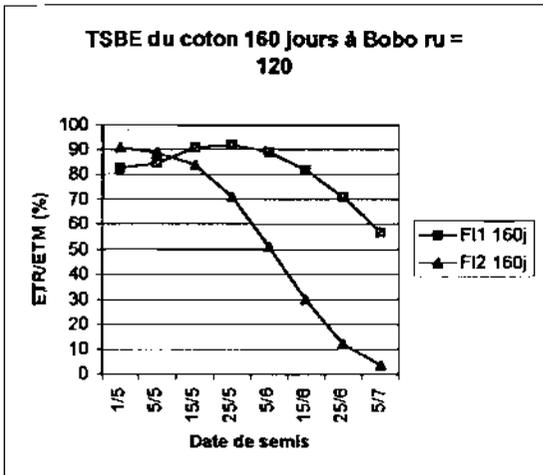
Annexe 3a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du cotonnier de 135 jours en fonction de la date de semis



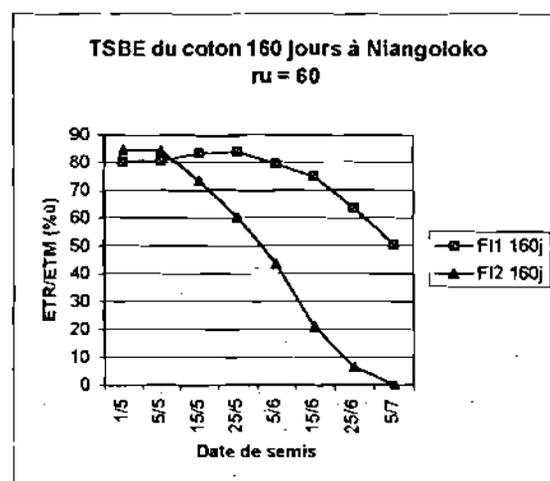
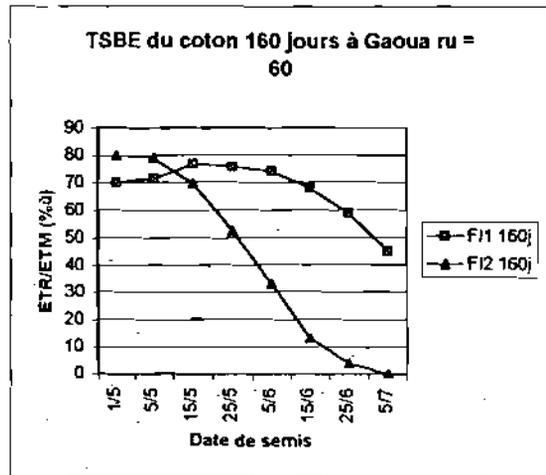
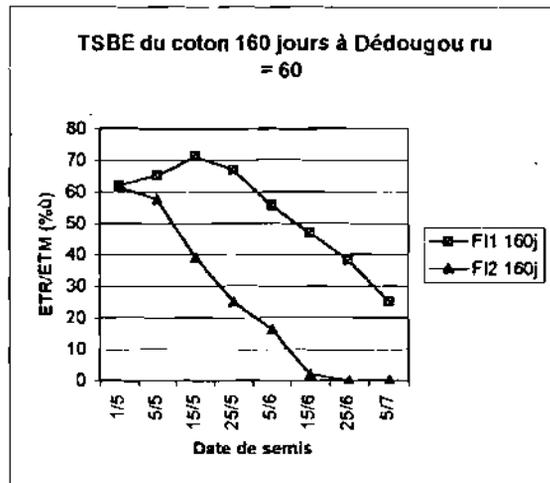
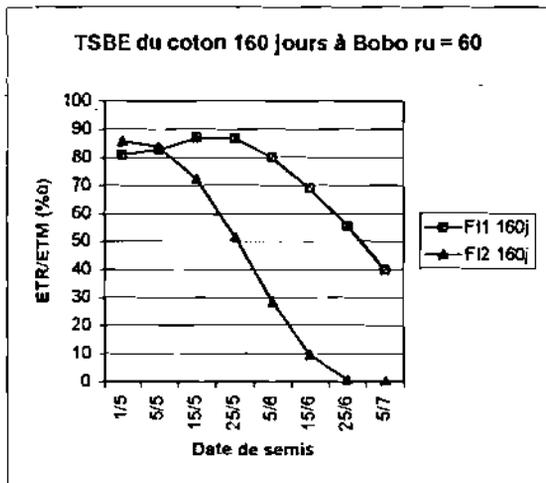
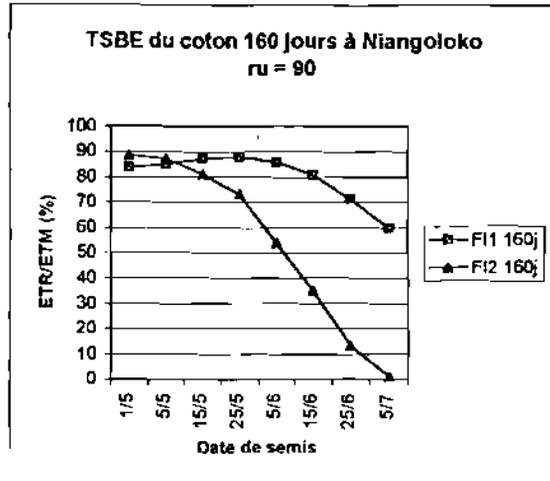
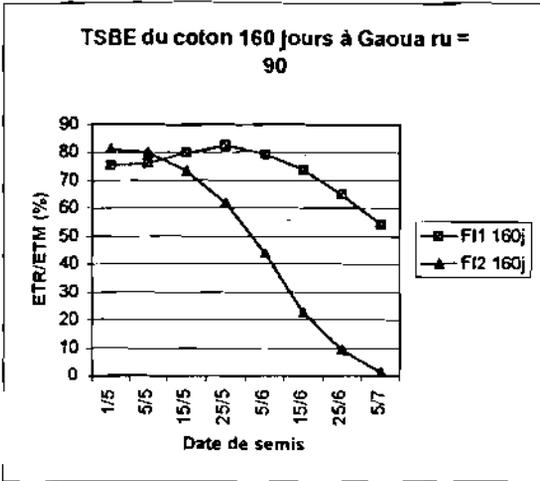
Annexe 3b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du cotonnier de 135 jours en fonction de la date de semis



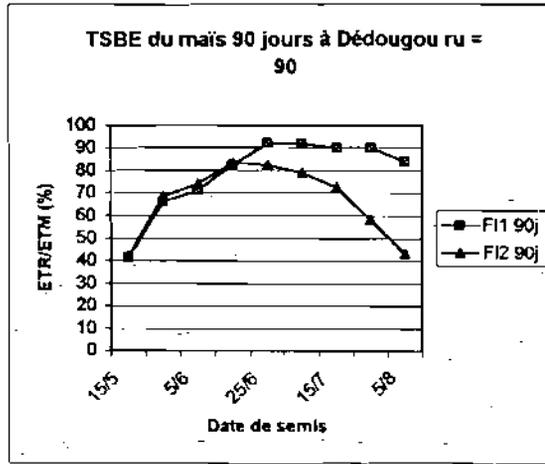
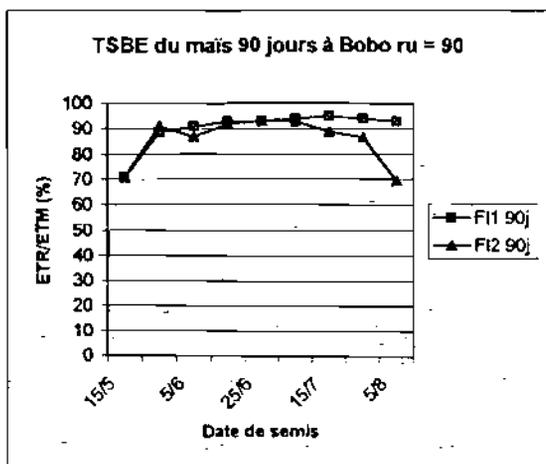
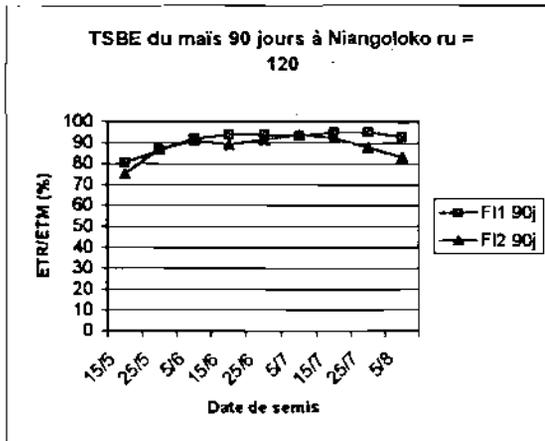
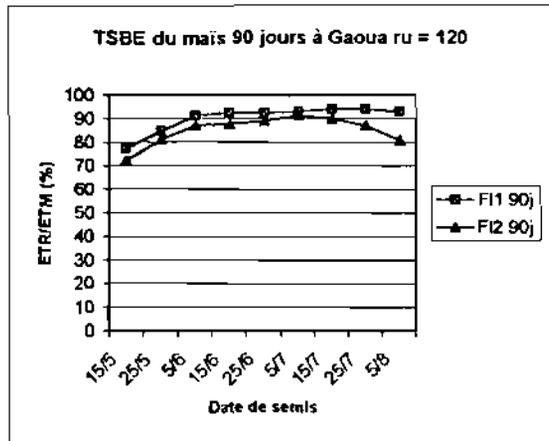
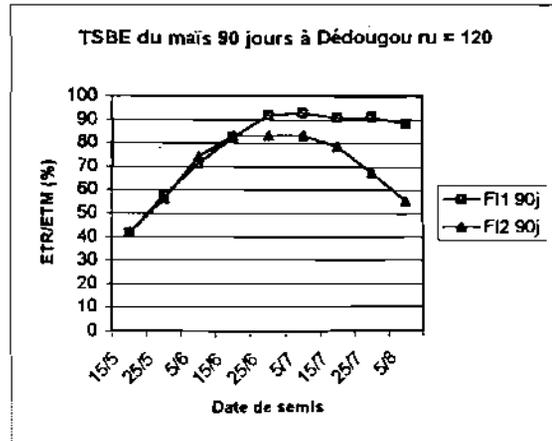
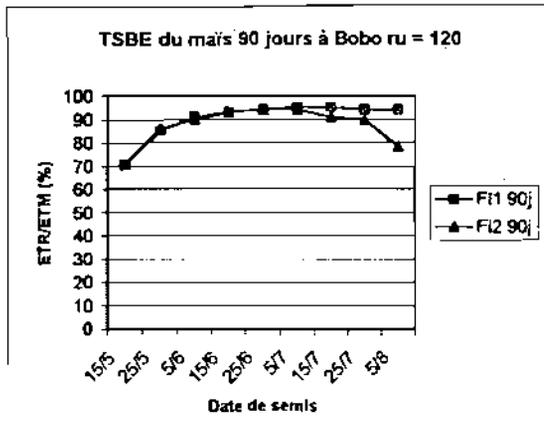
Annexe 4a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du cotonnier de 160 jours en fonction de la date de semis



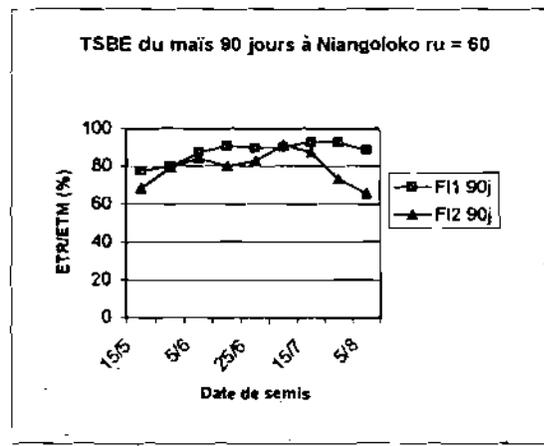
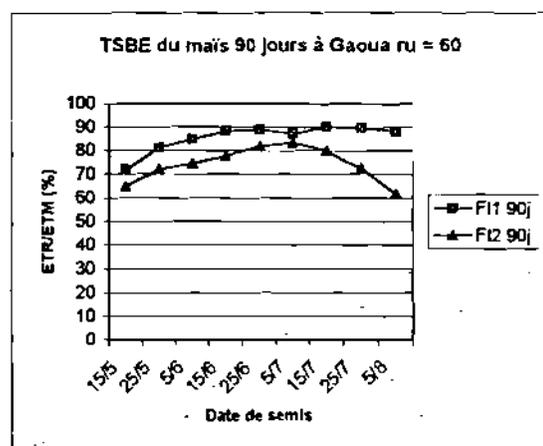
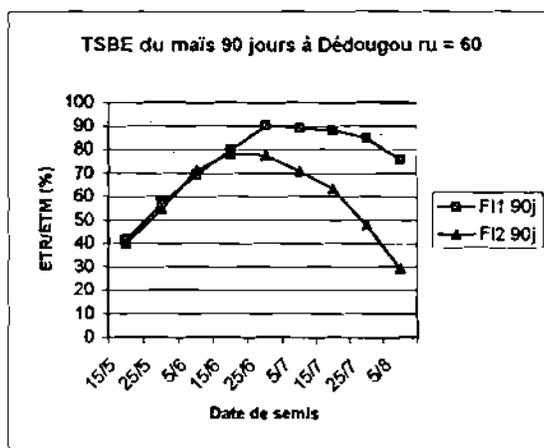
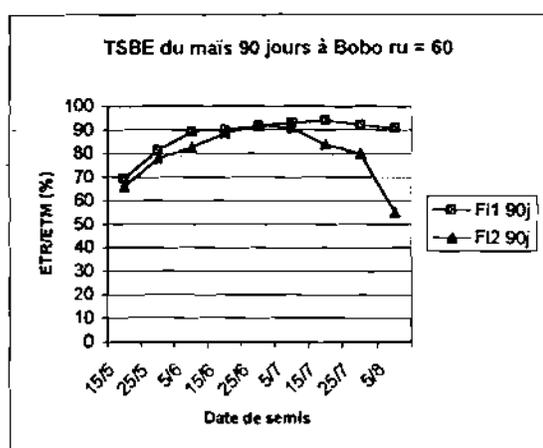
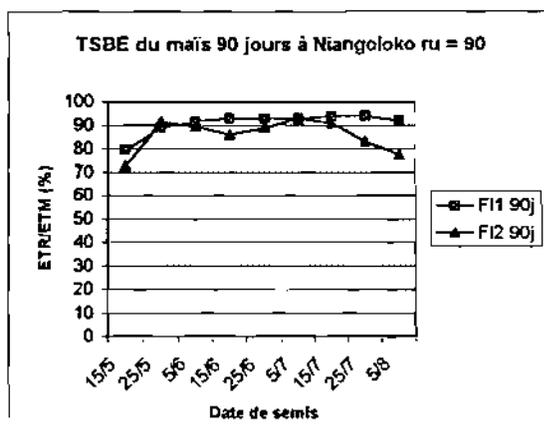
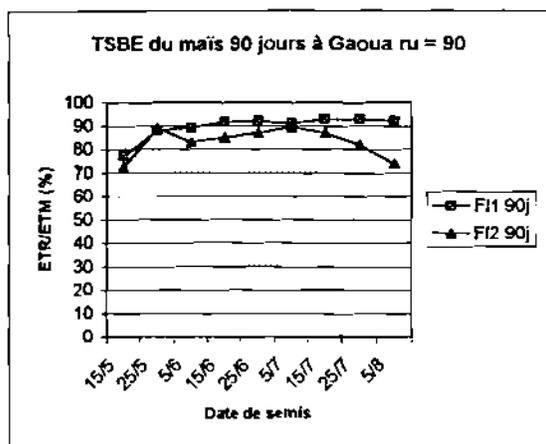
Annexe 4b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du cotonnier de 160 jours en fonction de la date de semis



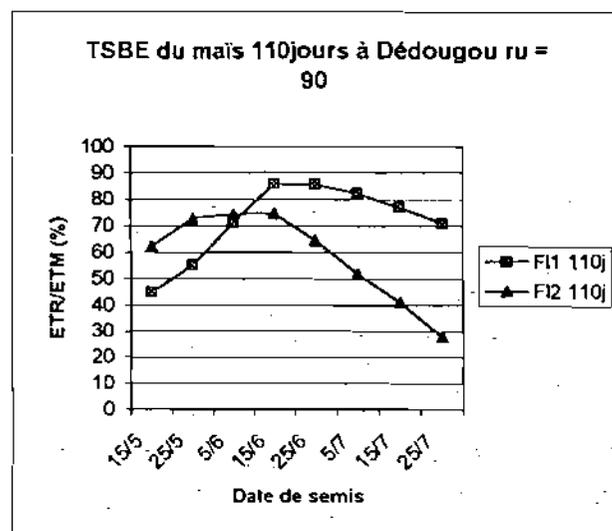
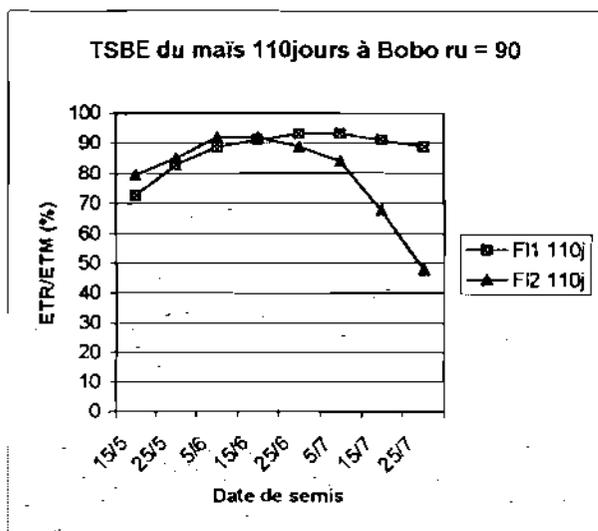
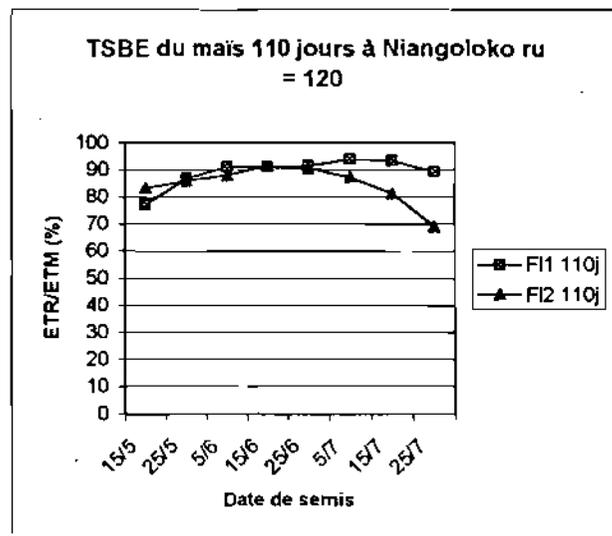
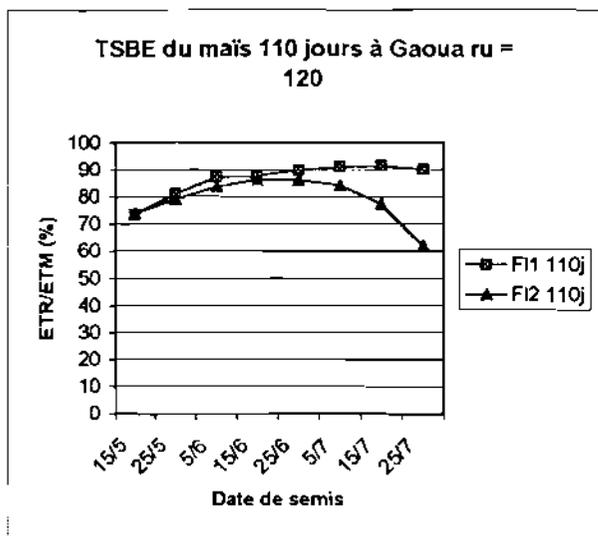
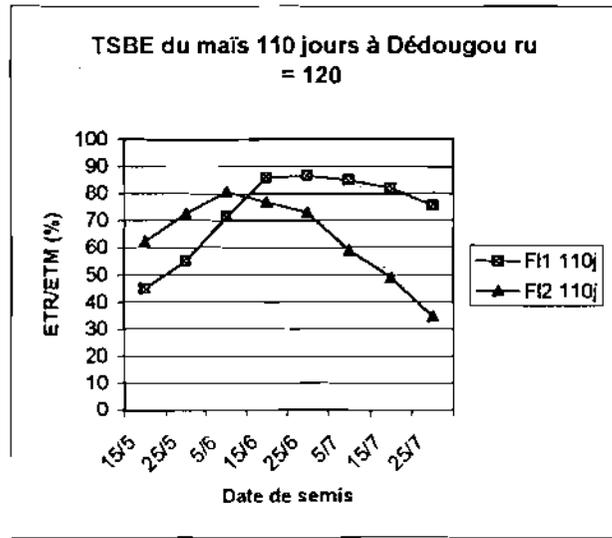
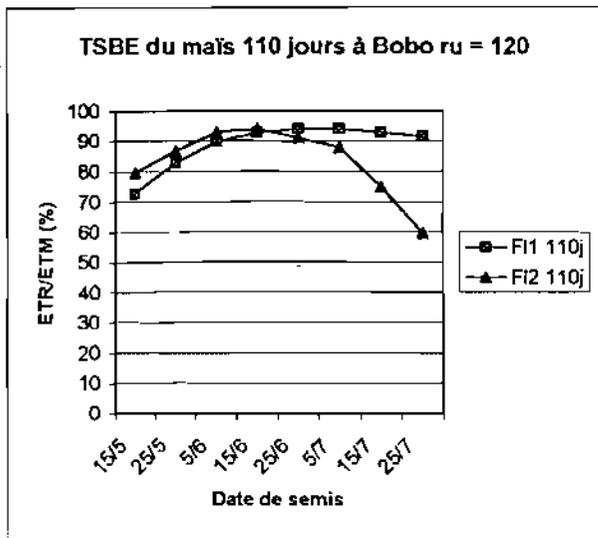
Annexe 5a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du maïs de 90 jours en fonction de la date de semis



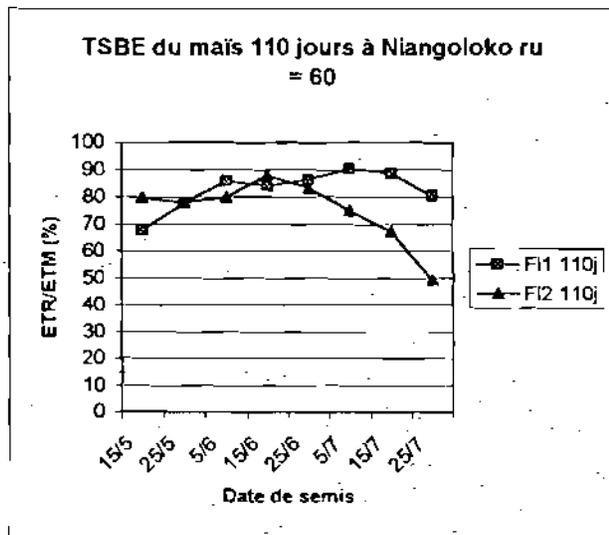
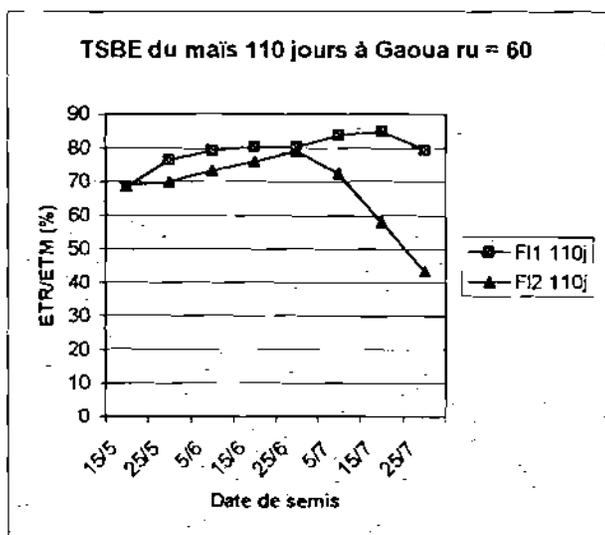
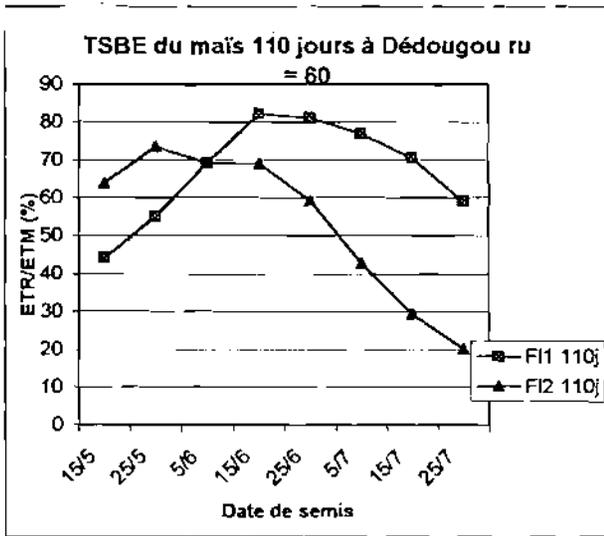
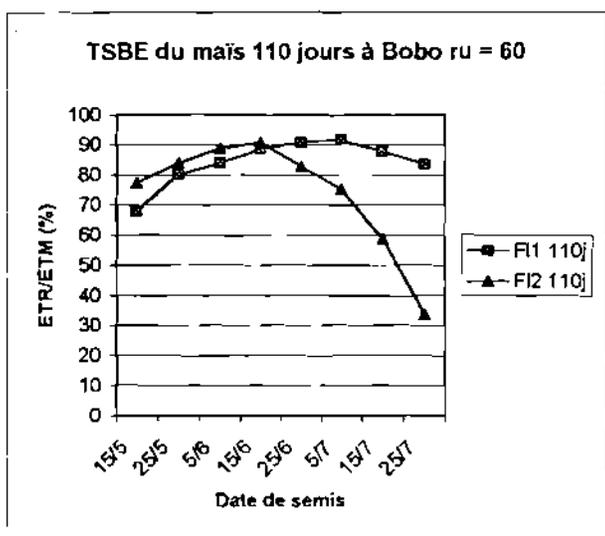
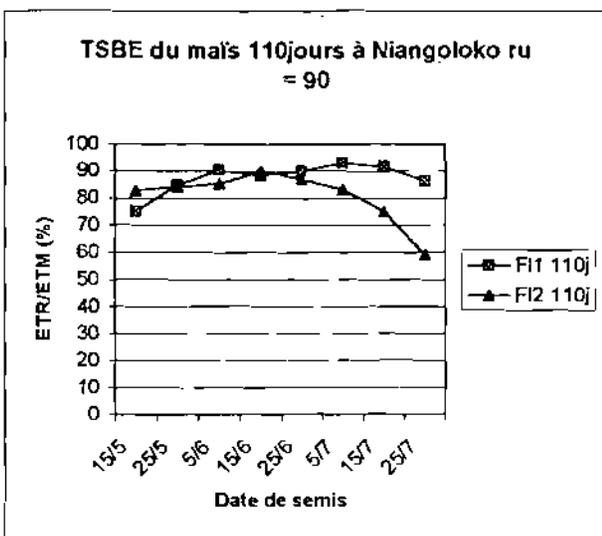
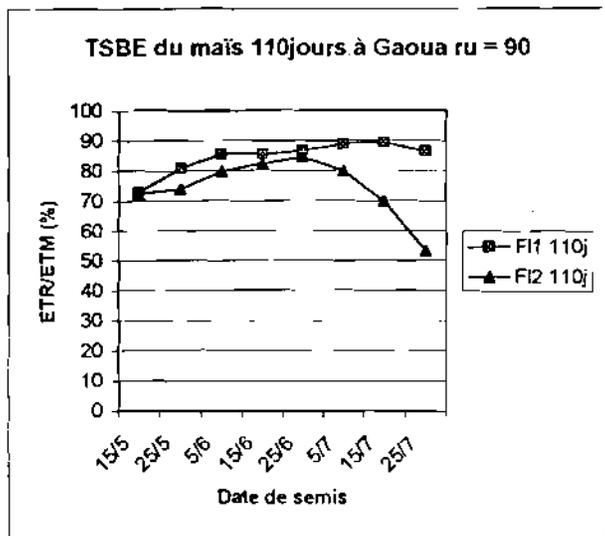
Annexe 5b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du maïs de 90 jours en fonction de la date de semis



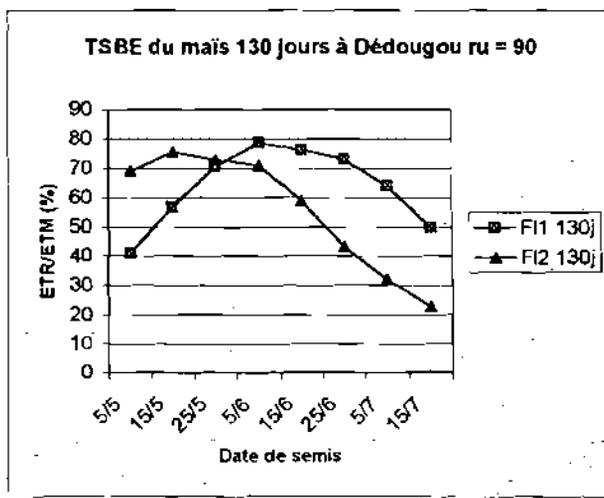
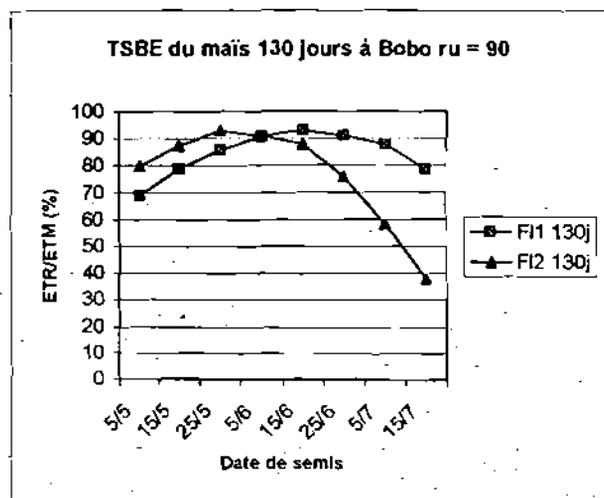
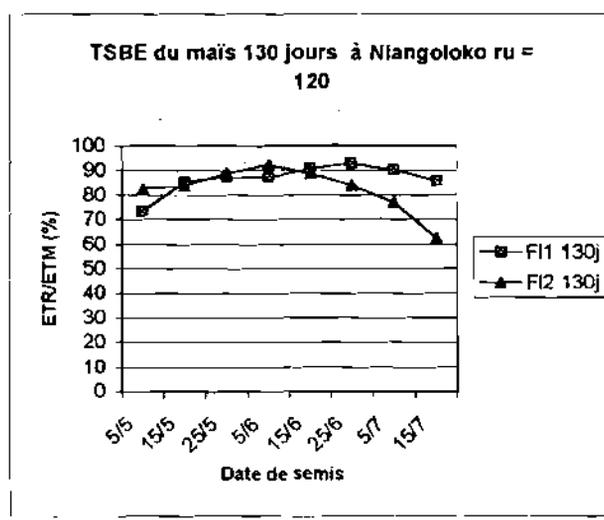
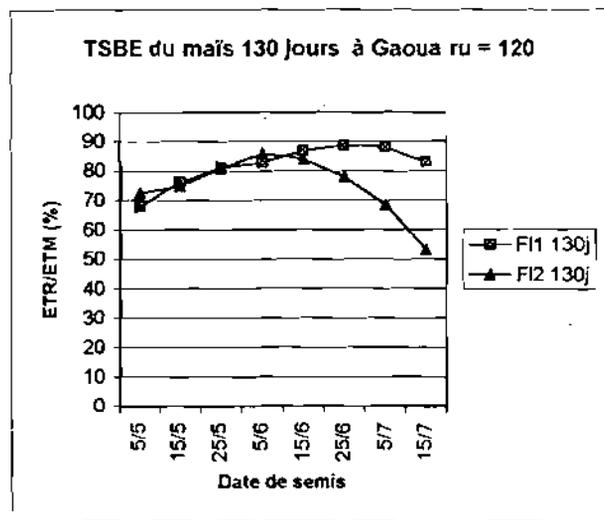
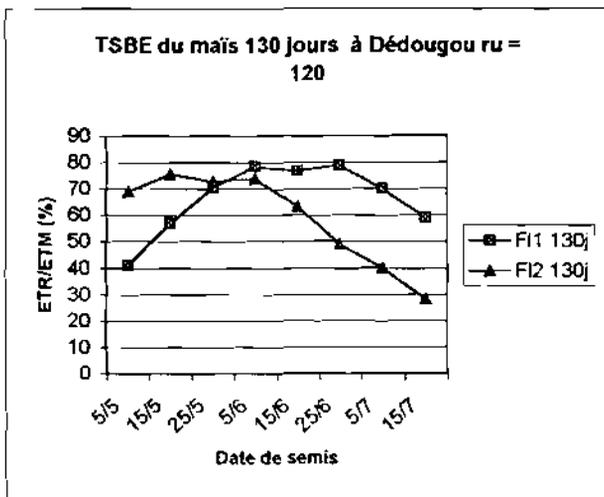
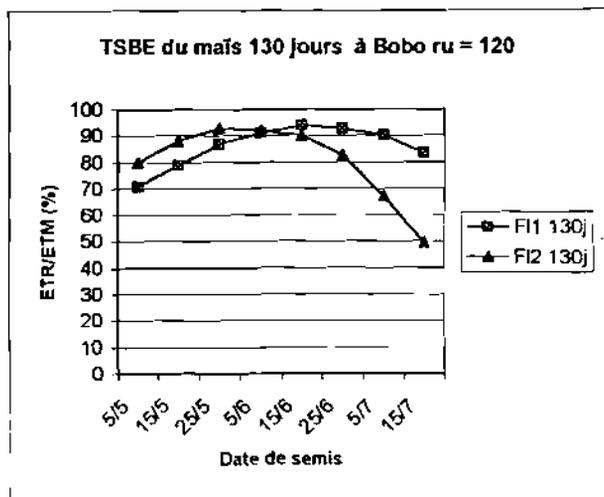
Annexe 6a : évolution du taux de satisfaction des besoins en du maïs de 110 jours en fonction de la date de semis



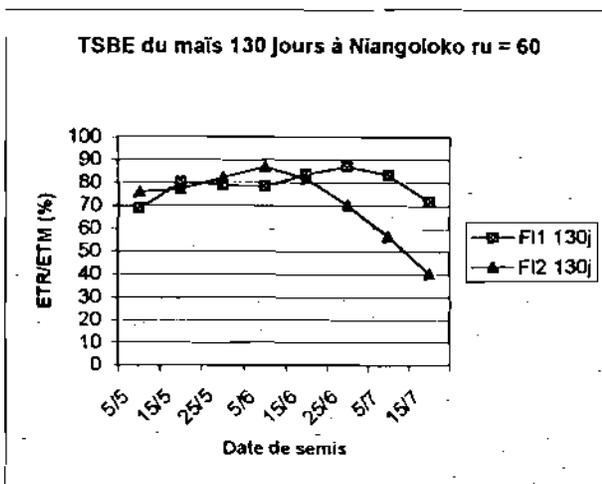
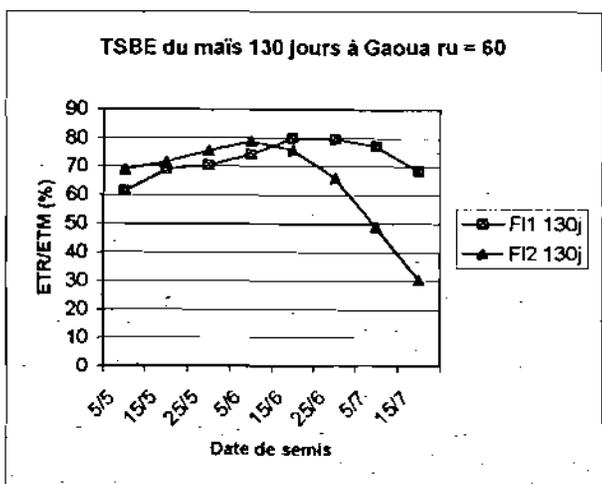
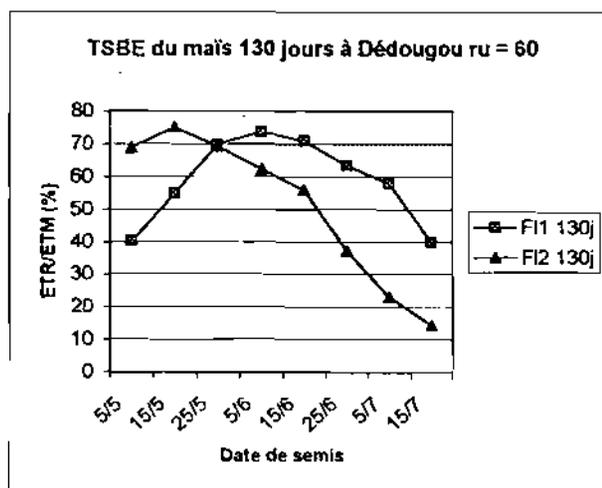
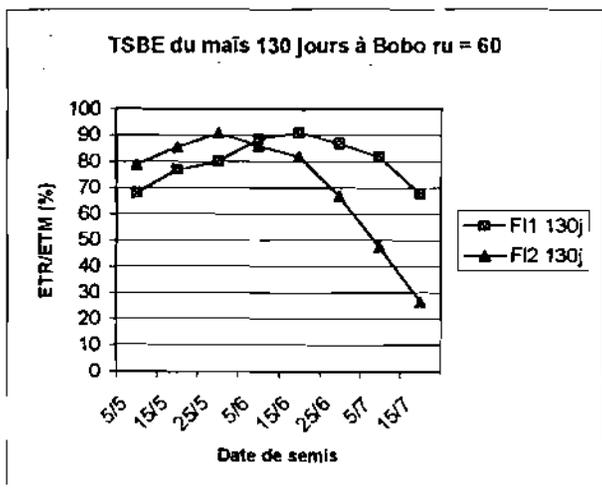
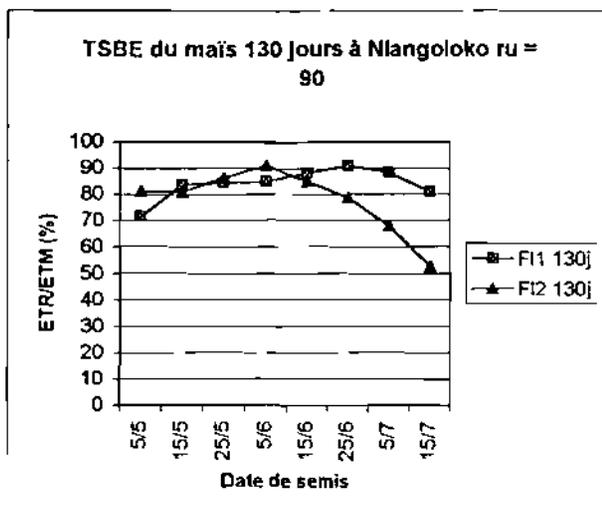
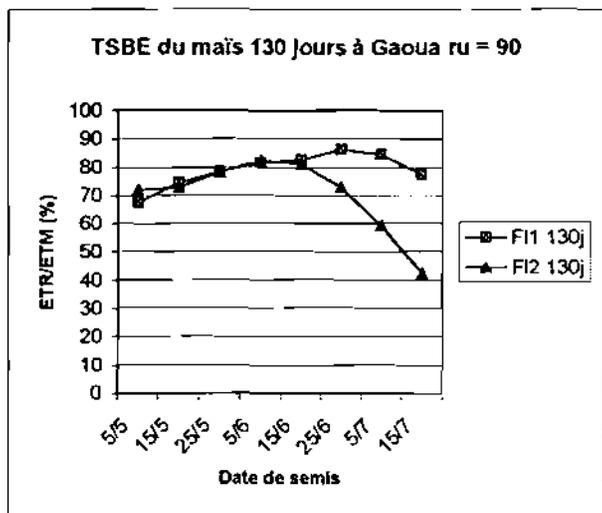
Annexe 6b : évolution du taux de satisfaction des besoins en du maïs de 110 jours en fonction de la date de semis



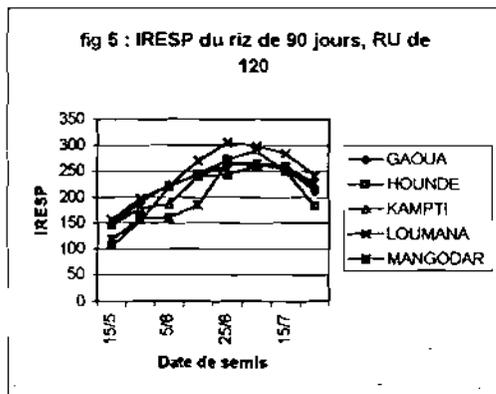
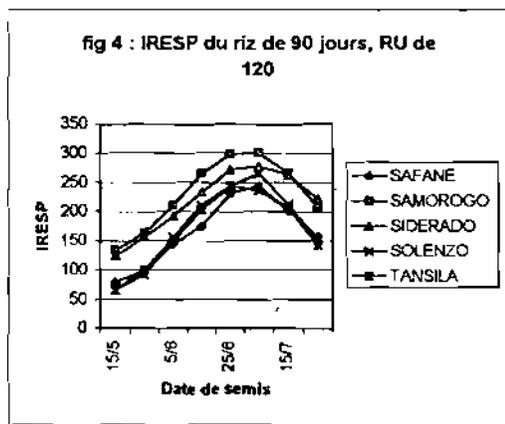
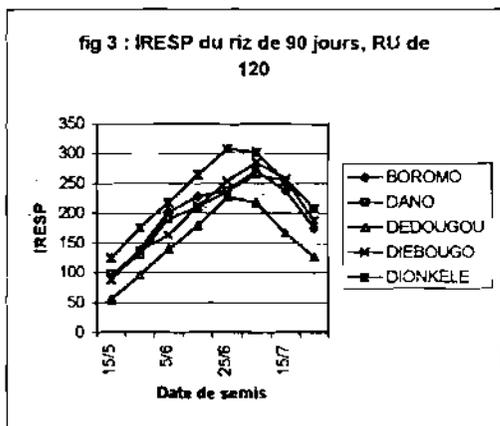
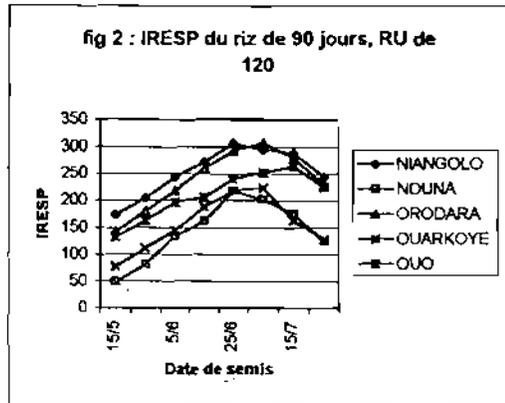
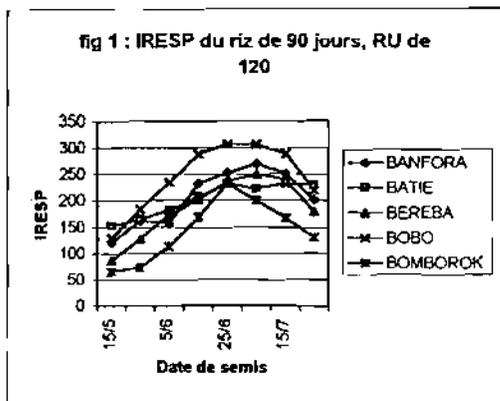
Annexe 7a : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du maïs 130 jours en fonction de la date de semis



Annexe 7b : évolution du taux de satisfaction des besoins en eau du maïs 130 jours en fonction de la date de semis



Annexe 8a : évolution de l'indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours en fonction de la date de semis



Annexe 8b : évolution de l'indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours en fonction de la date de semis

fig 6 : IRESP du riz de 90 jours, RU de 90

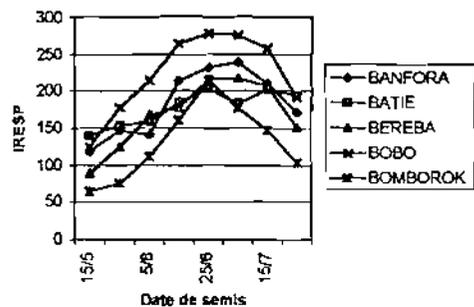


fig 7 : IRESP du riz de 90 jours, RU de 90

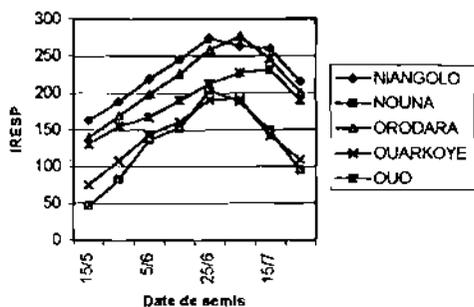


fig 8 : IRESP du riz de 90 jours, RU de 90

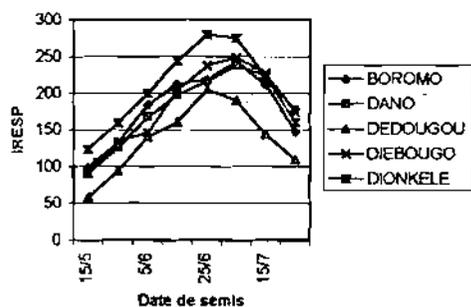


fig 9 : IRESP du riz de 90 jours, RU de 90

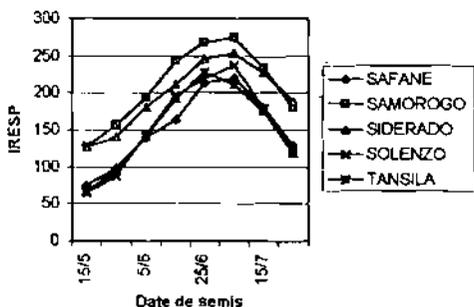
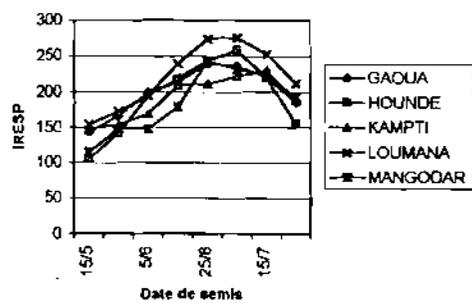
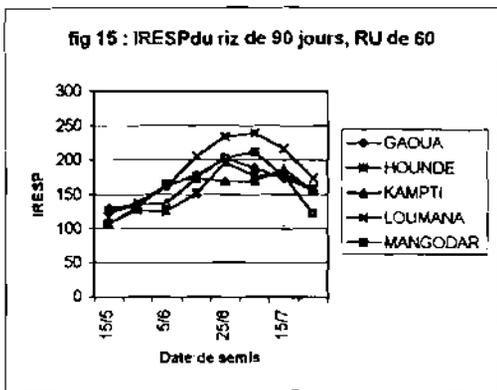
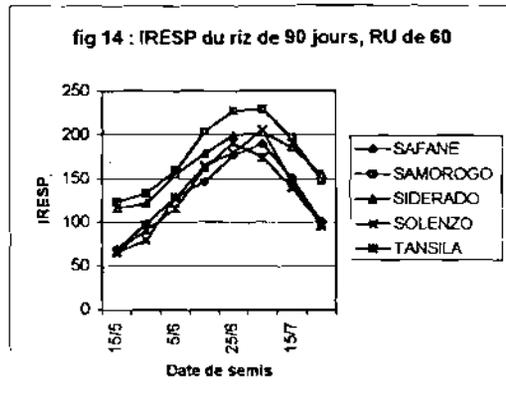
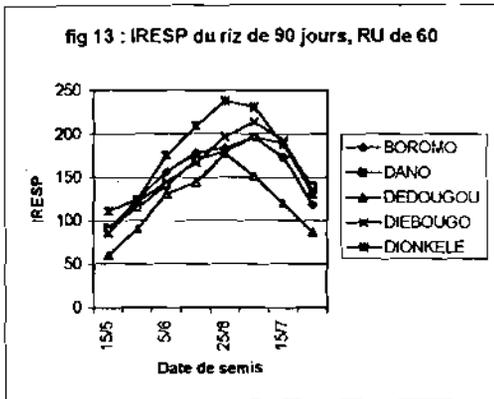
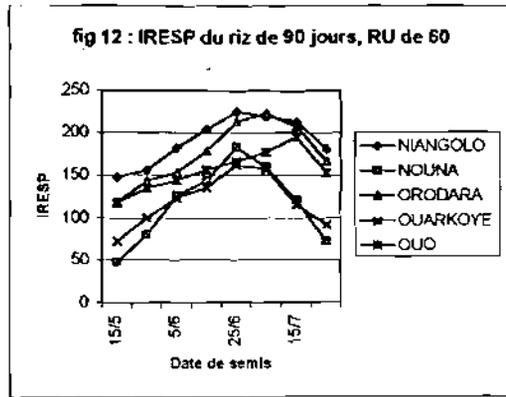
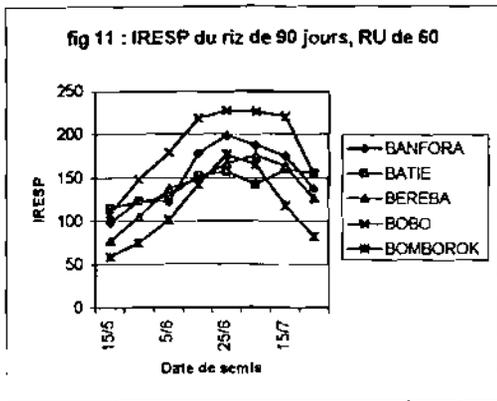


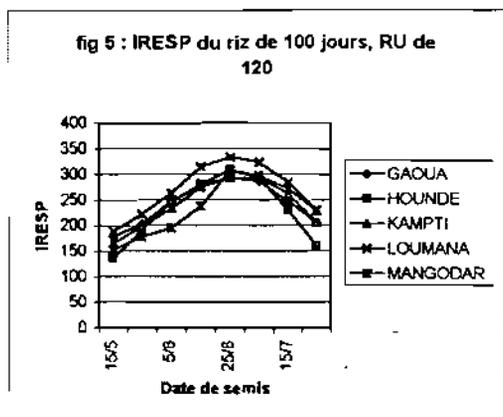
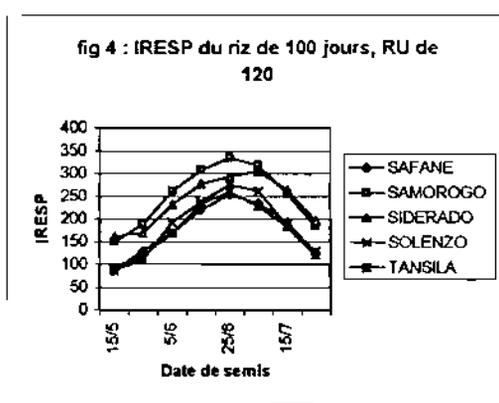
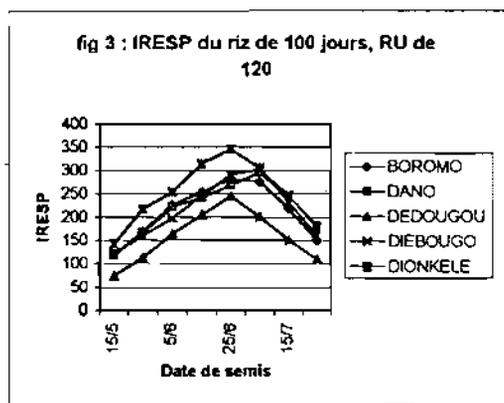
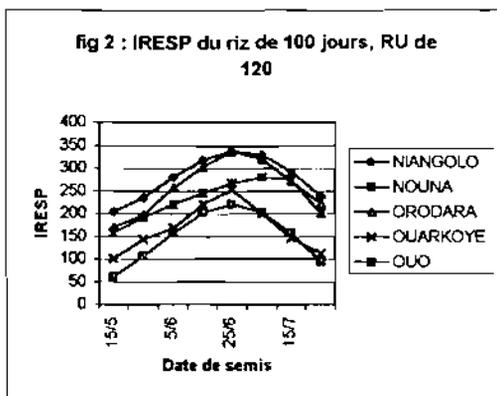
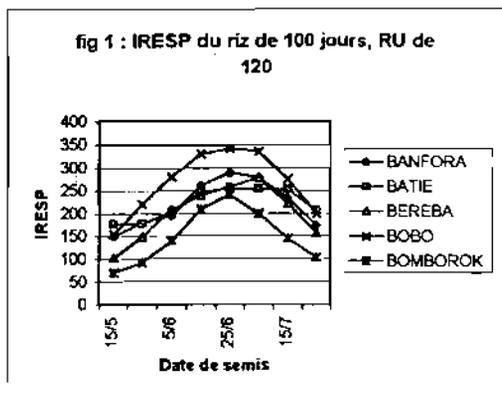
fig 10 : IRESP du riz de 90 jours, RU de 90



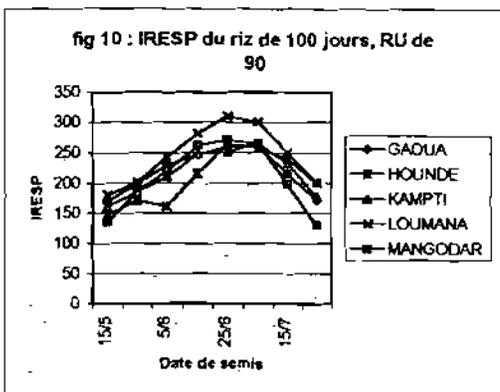
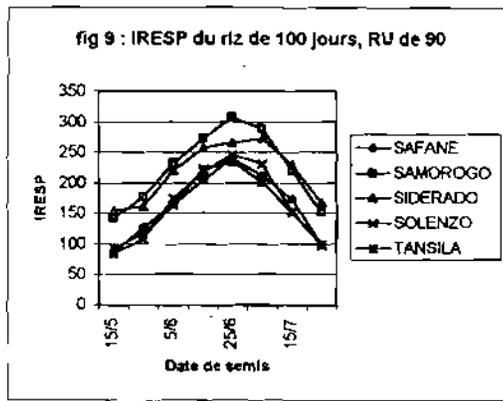
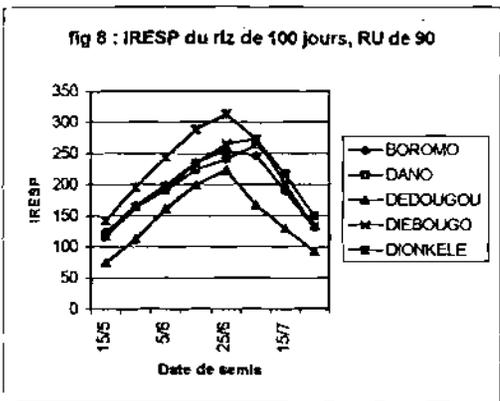
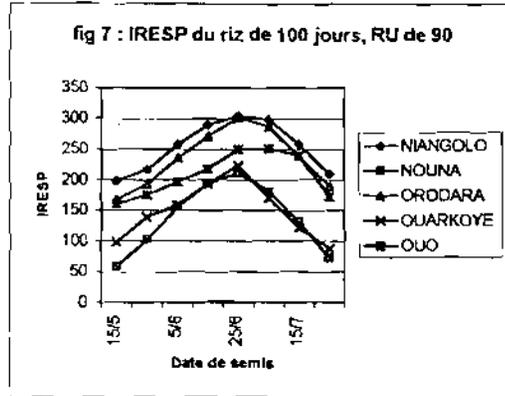
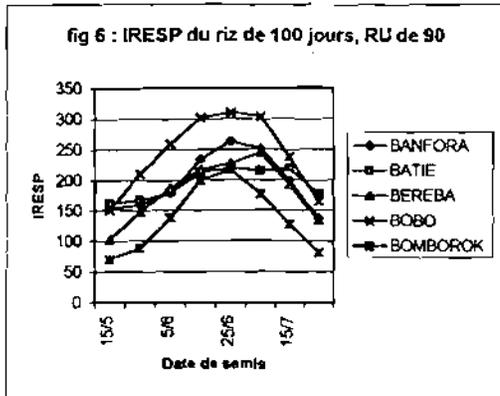
Annexe 8c : évolution de l'indice de rendements espérés du riz pluvial de 90 jours en fonction de la date de semis



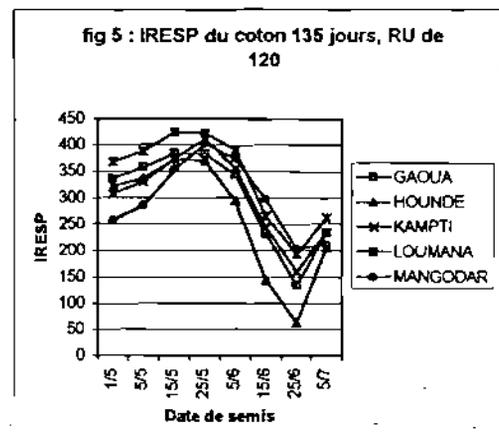
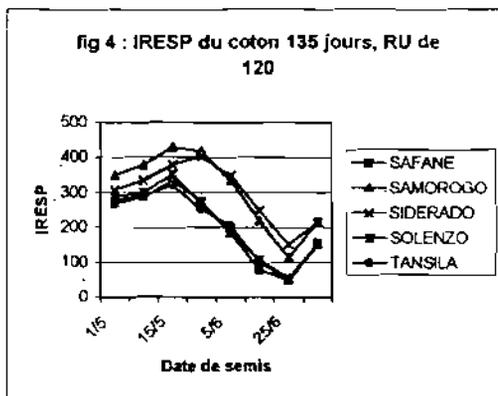
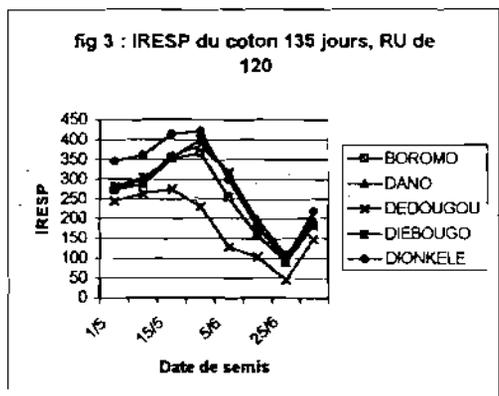
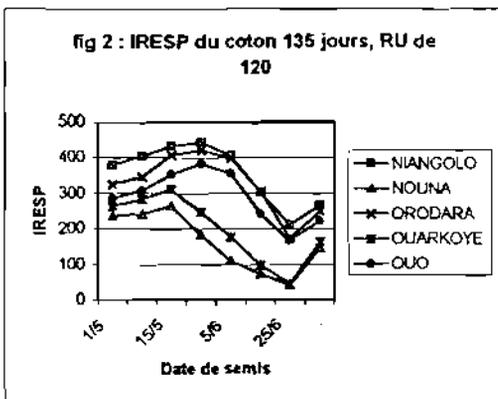
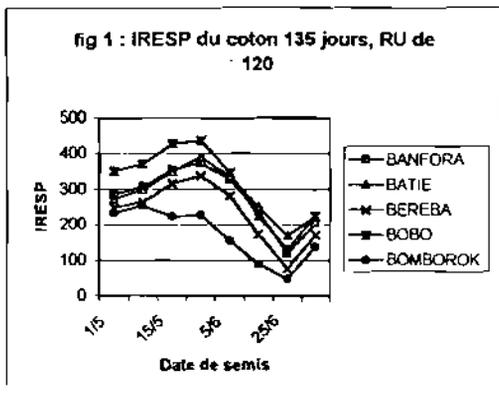
Annexe 9a : évolution de l'indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours en fonction de la date de semis



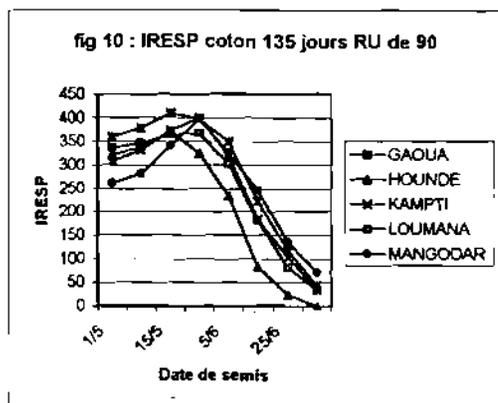
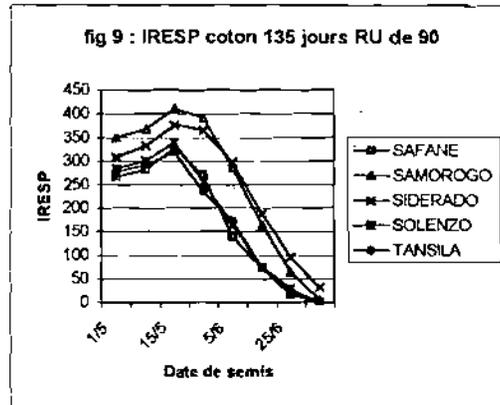
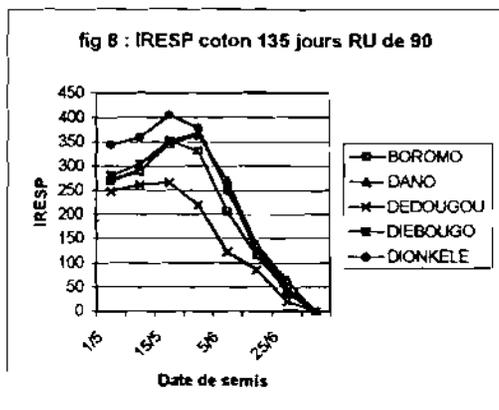
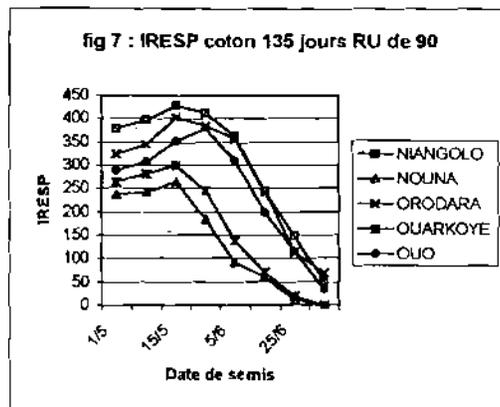
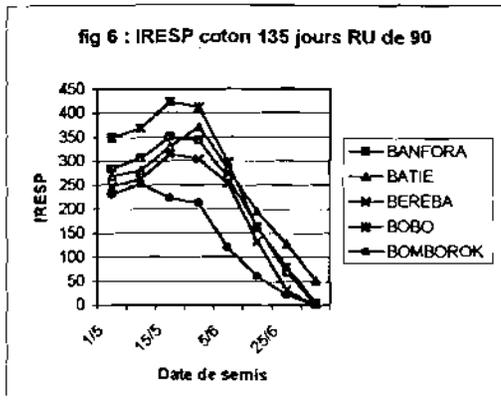
Annexe 9b : évolution de l'indice de rendements espérés du riz pluvial de 100 jours en fonction de la date de semis



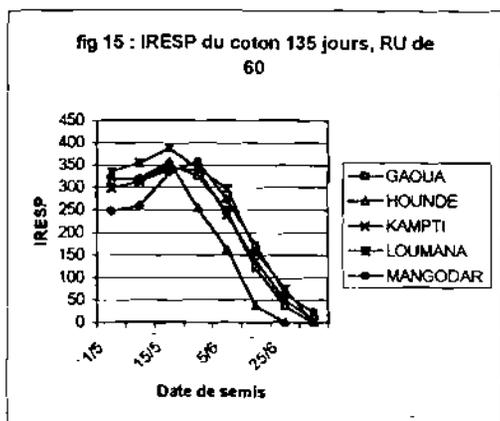
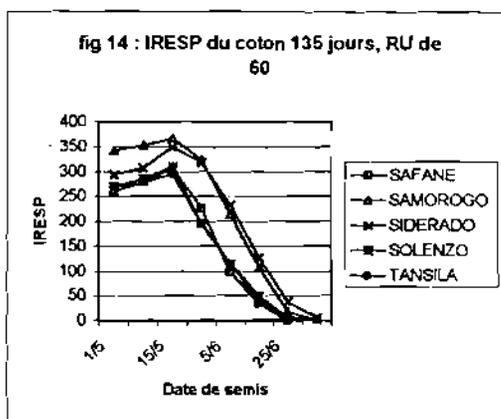
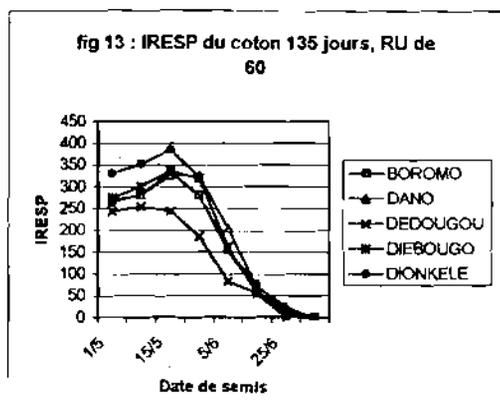
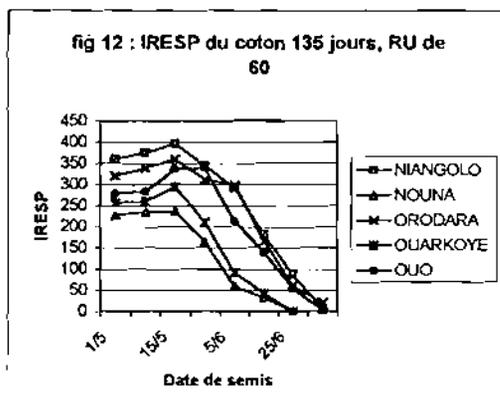
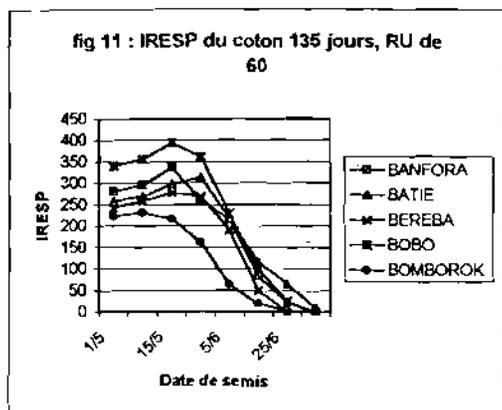
Annexe 10a : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 135 en fonction de la date de semis



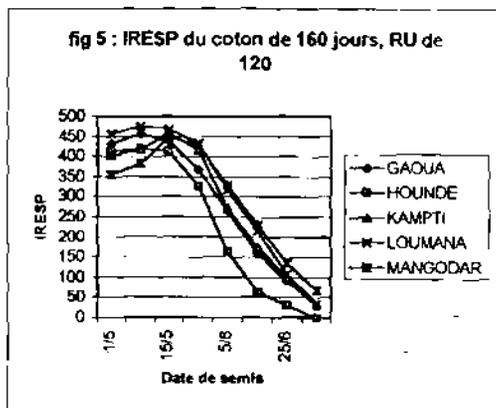
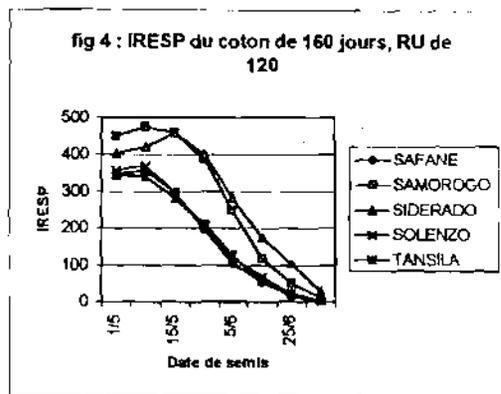
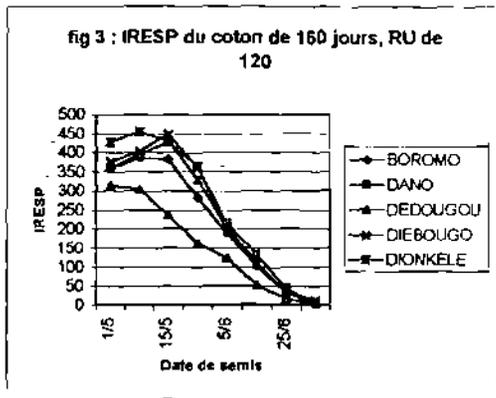
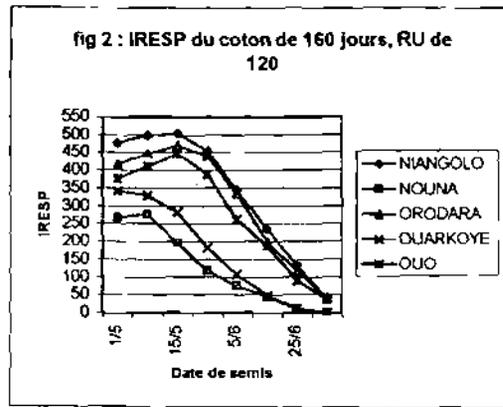
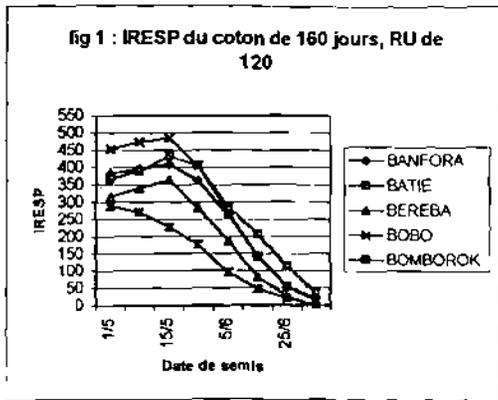
Annexe 10b : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 135 en fonction de la date de semis



Annexe 10c : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 135 en fonction de la date de semis



Annexe 11a : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 160 jours en fonction de la date de semis



Annexe 11b : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 160 jours en fonction de la date de semis

fig 6 : IRESP du coton de 160 jours, RU de 90

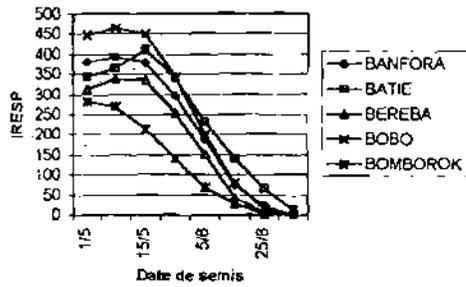


fig 7 : IRESP du coton de 160 jours, RU de 90

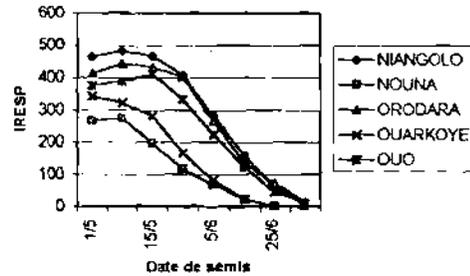


fig 8 : IRESP du coton de 160 jours, RU de 90

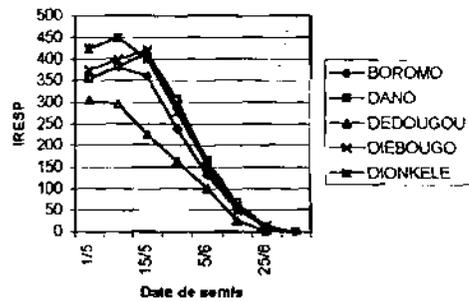


fig 9 : IRESP du coton de 160 jours, RU de 90

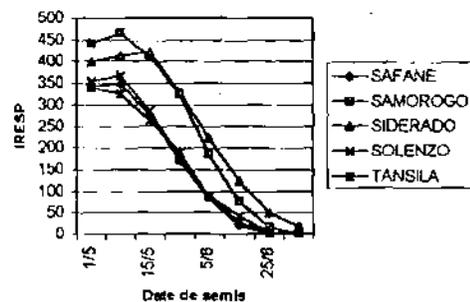
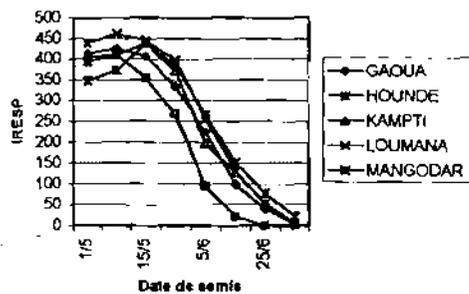
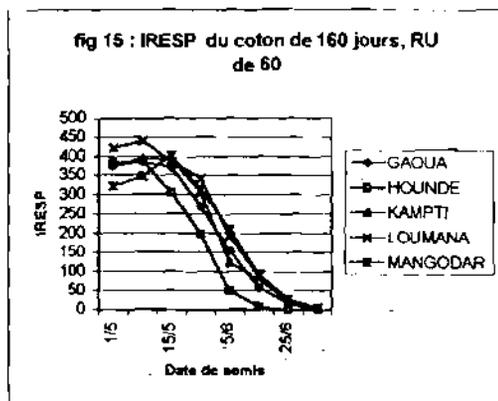
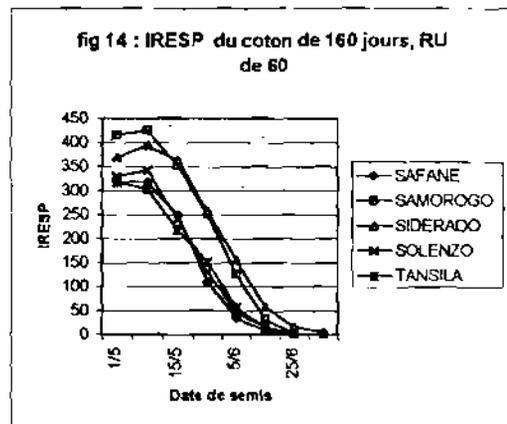
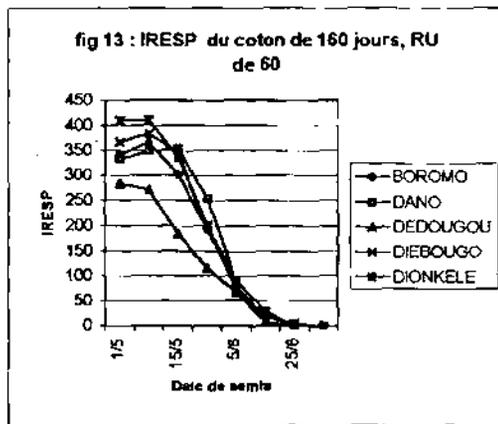
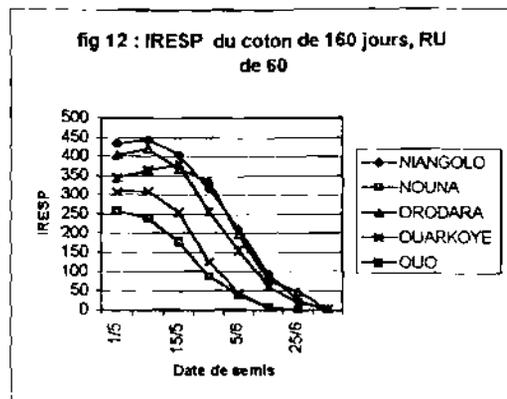
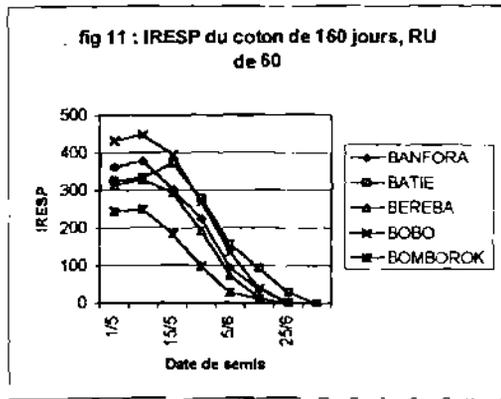


fig 10 : IRESP du coton de 160 jours, RU de 90



Annexe 11c : évolution de l'indice de rendements espérés du coton de 160 jours en fonction de la date de semis



Annexe 12a : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 90 jours en fonction de la date de semis

fig 1 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120

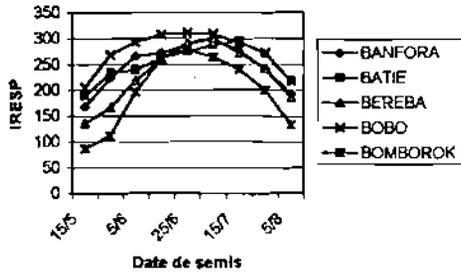


fig 2 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120

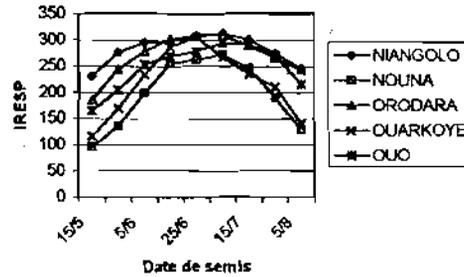


fig 3 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120

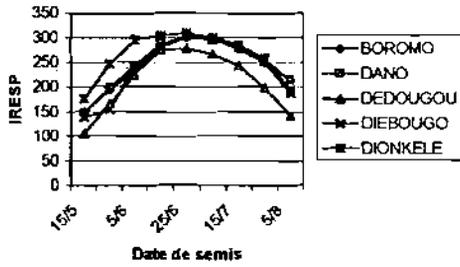


fig 4 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120

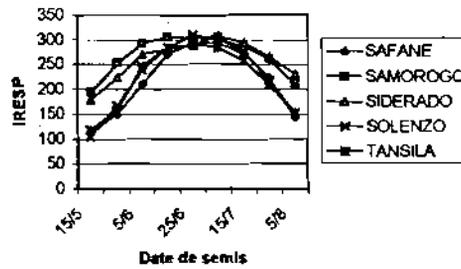
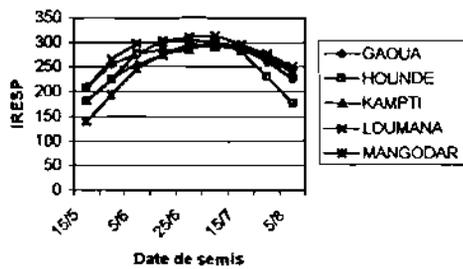
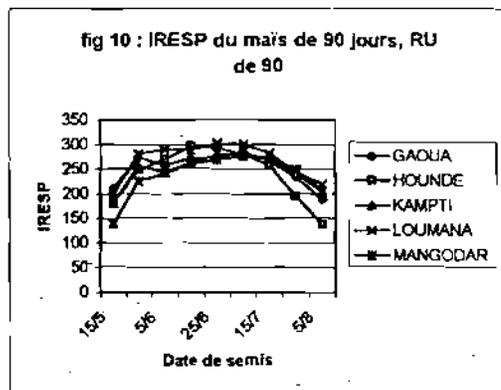
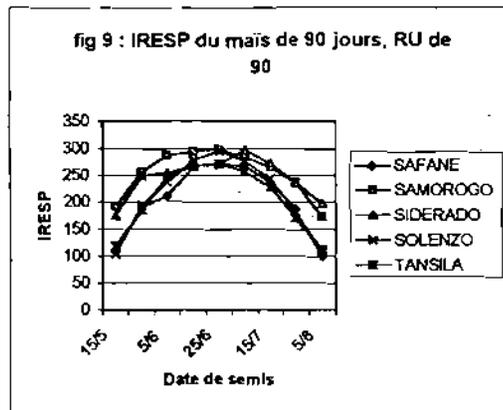
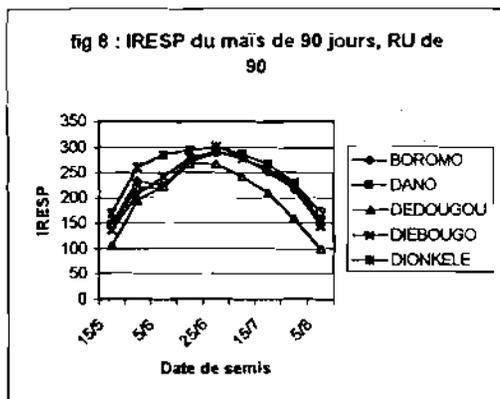
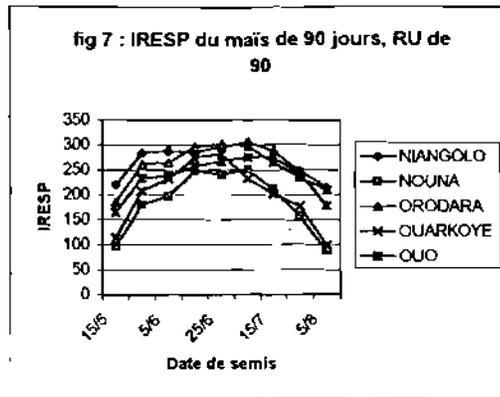
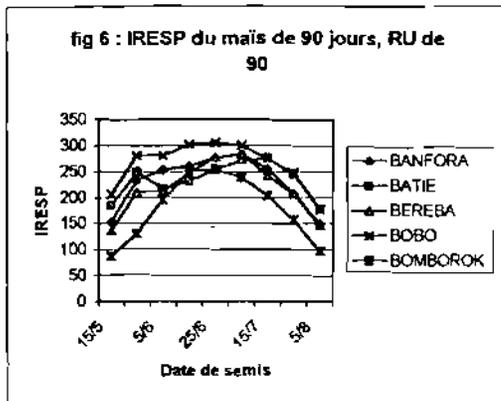


fig 5 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 120



Annexe 12b : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 90 jours en fonction de la date de semis



Annexe 12c : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 90 jours en fonction de la date de semis

fig 11 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 60

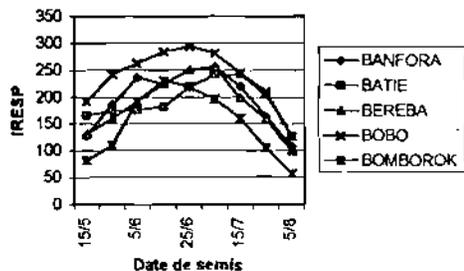


fig 12 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 60

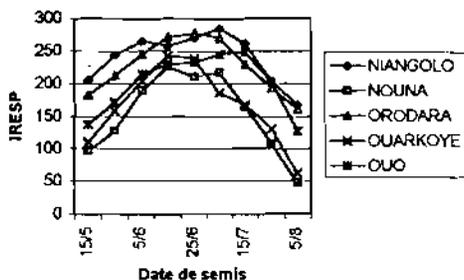


fig 13 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 60

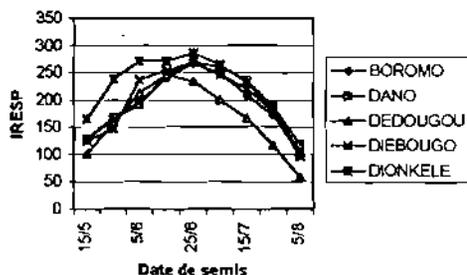


fig 14 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 60

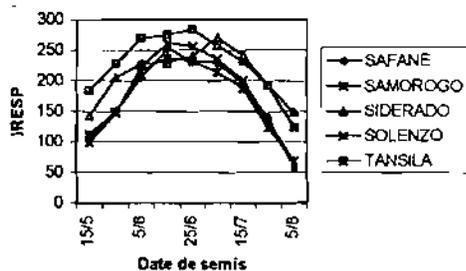
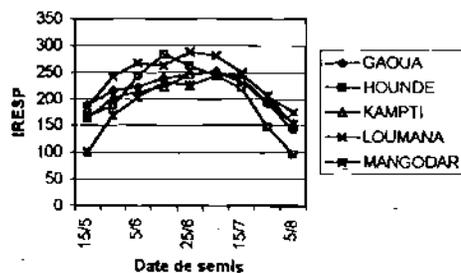


fig 15 : IRESP du maïs de 90 jours, RU de 60



Annexe 13a : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 110 jours en fonction de la date de semis

fig 1 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120

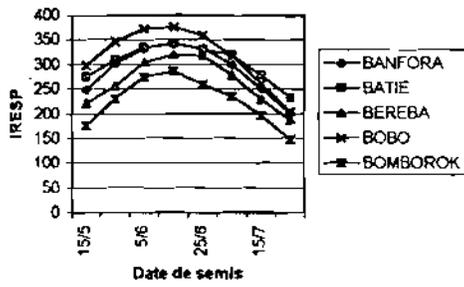


fig 2 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120

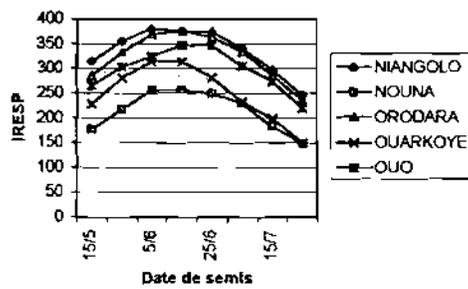


fig 3 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120

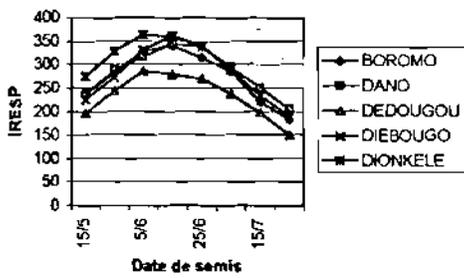


fig 4 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120

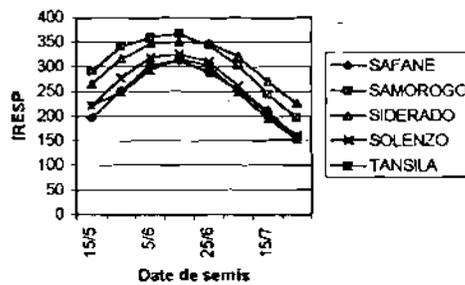
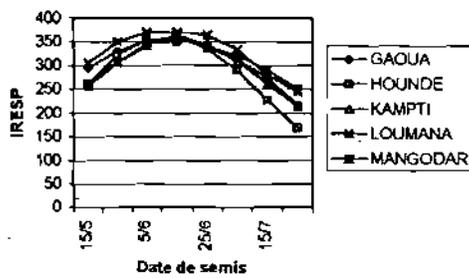


fig 5 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 120



Annexe 13b : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 110 jours en fonction de la date de semis

fig 6 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90

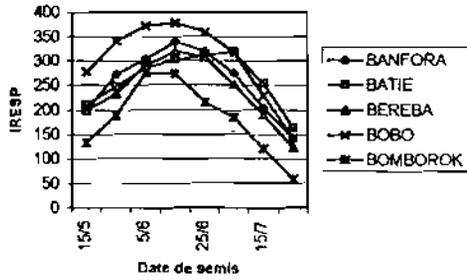


fig 7 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90

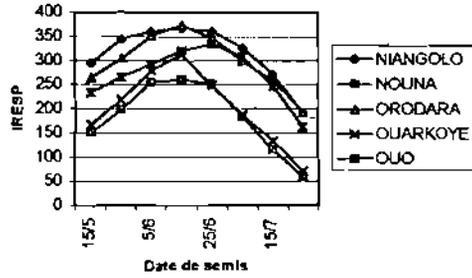


fig 8 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90

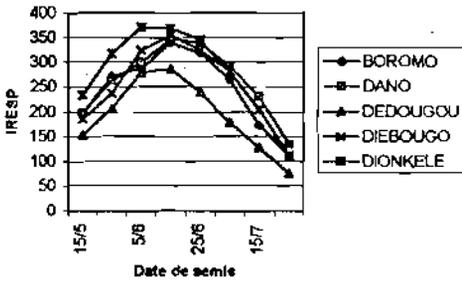


fig 9 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90

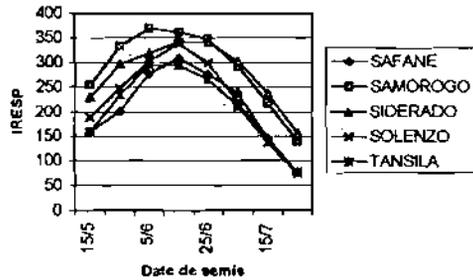
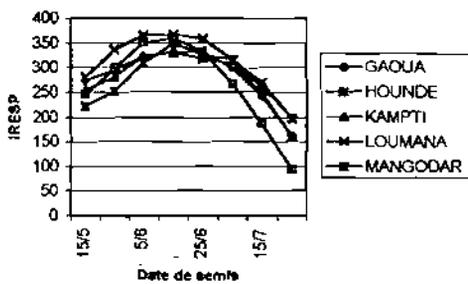
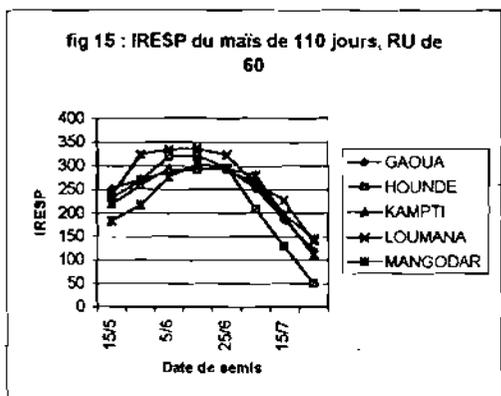
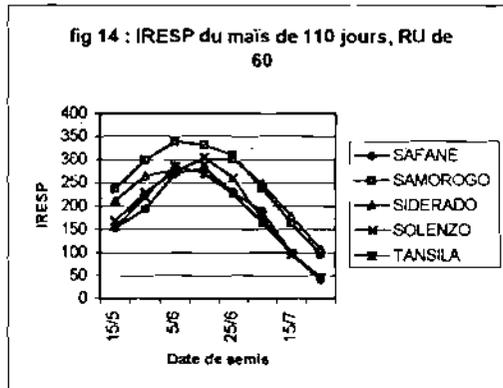
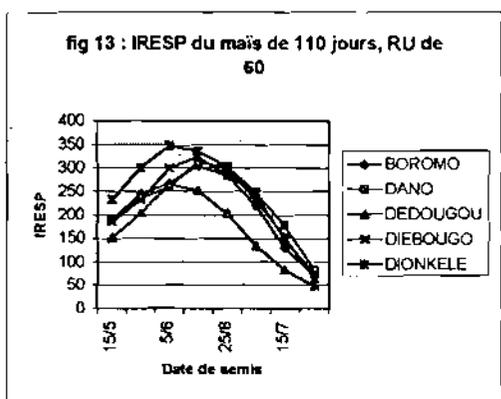
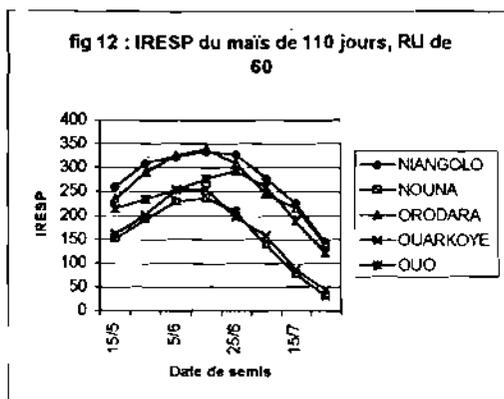
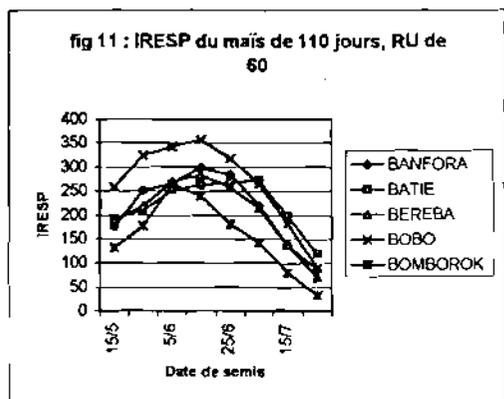


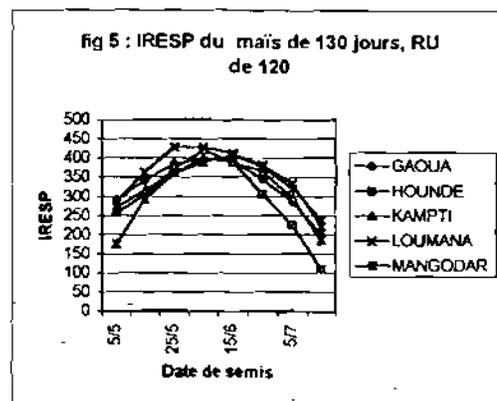
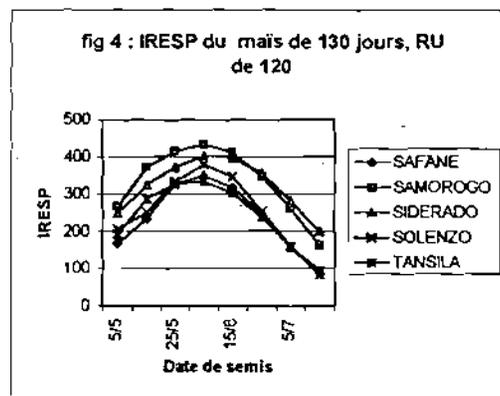
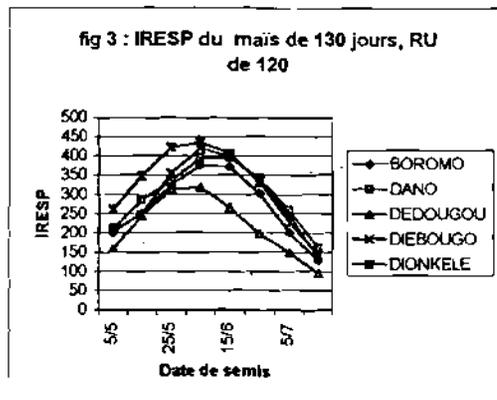
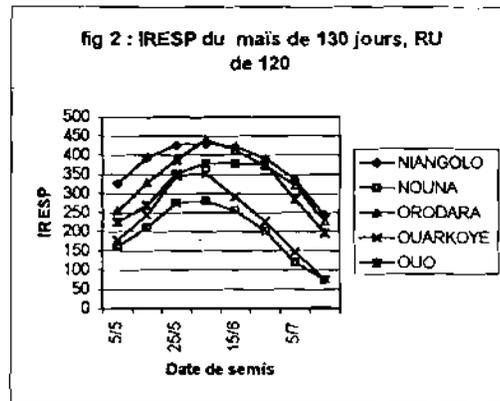
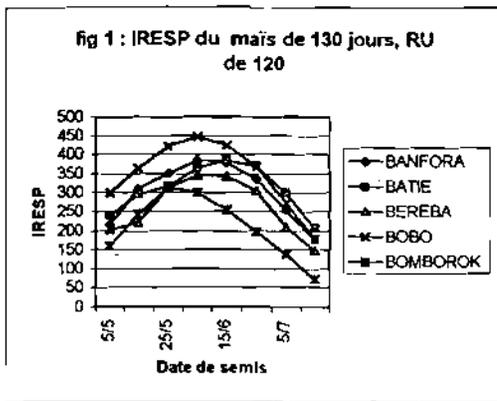
fig 10 : IRESP du maïs de 110 jours, RU de 90



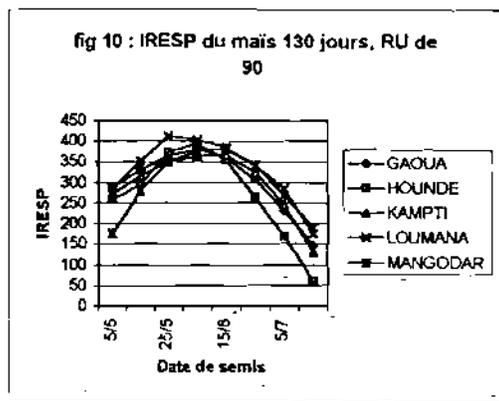
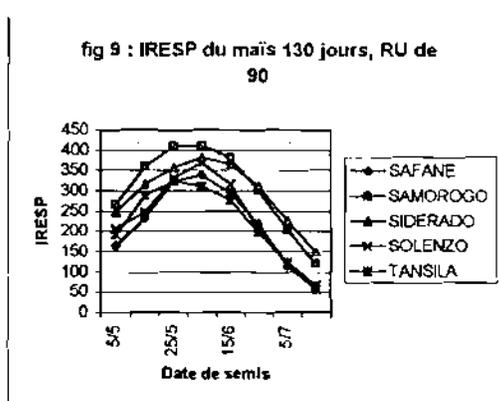
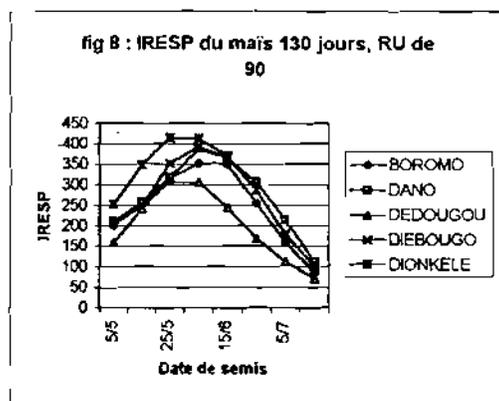
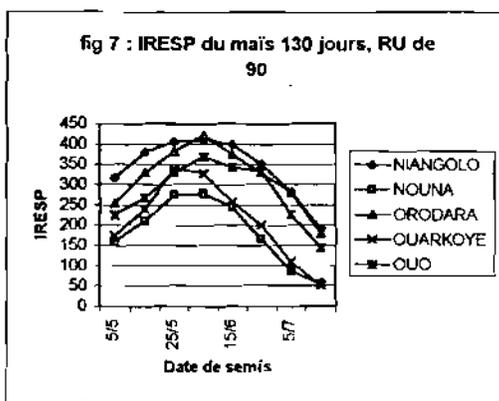
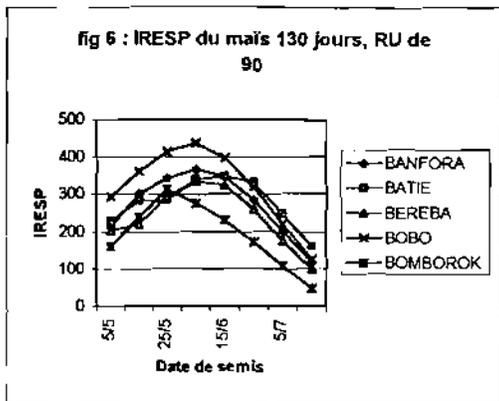
Annexe 13c : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 110 jours en fonction de la date de semis



Annexe 14a : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 130 jours en fonction de la date de semis



Annexe 14b : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 130 jours en fonction de la date de semis



Annexe 14 c : évolution de l'indice de rendements espérés du maïs de 130 jours en fonction de la date de semis

fig 11 : IRESP du maïs de 130 jours, RU de 60

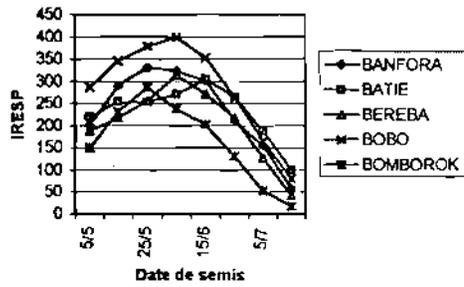


fig 12 IRESP du maïs de 130 jours, RU de 60

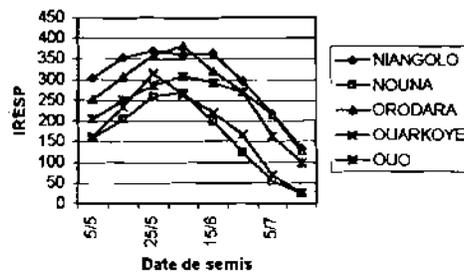


fig 13 : IRESP du maïs de 130 jours, RU de 60

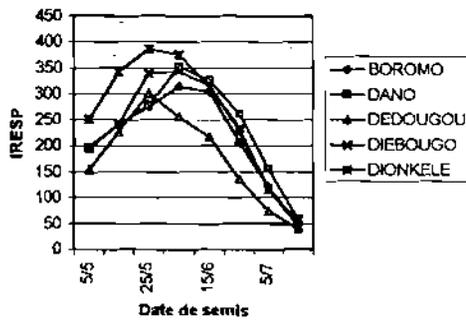


fig 14 : IRESP du maïs de 130 jours, RU de 60

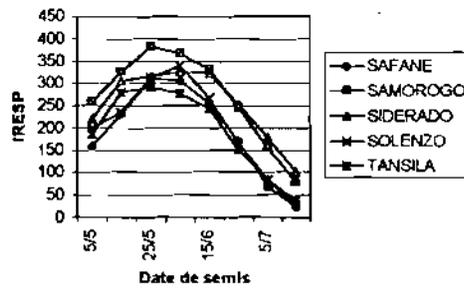
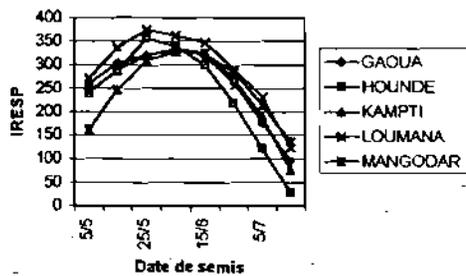


fig 15 : IRESP du maïs de 130 jours, RU de 60



Annexe15 : Fonction de production obtenus a partir des tests en milieu paysan

